



Universidad Austral de Chile  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil Acústica

**“Acondicionamiento de una sala para audiometrías en campo libre en la Escuela Diferencial Walter Schmidt R. de la ciudad de Valdivia”**

**Profesor Patrocinante**

Dr. José Luís Barros  
Instituto de Acústica  
Universidad Austral de Chile

**Profesor Informante**

Dr. Enrique Suarez Silva  
Instituto Acústica  
Universidad Austral de Chile

**Profesor Informante**

Dr. Jorge Arenas Bermúdez  
Instituto Acústica  
Universidad Austral de Chile

Tesis presentada para optar al  
Grado de Licenciado en  
Acústica y al Título Profesional  
de Ingeniero Civil Acústico.

Catalina Holch Koncz  
Valdivia – Chile  
2012

## AGRADECIMIENTOS

*A mi padre Cristián por la inmensa paciencia y apoyo que me dio en este tiempo.*

*A mi madre Patty por incentivar me a ser cada día mejor y no darme por vencida.*

*A ambos infinitas gracias por su amor y fuerza, porque gracias a ustedes he llegado a ser  
la  
persona que hoy día soy.*

*A mis hermanos Hans, Juan Eduardo, Vale y Chris por darme fuerzas y alegría en mi vida.*

*A mi nanita de mi vida, por su ayuda y amor incondicional con todos nosotros.*

*A Marcelo por llenar de amor y alegría todos y cada uno de los días de mi vida. Muchas gracias a ti amor. Gracias también por darme fuerzas y apoyo incondicional en terminar esta etapa de mi vida.*

*A Alex Obando, por ayudarme a hacer posible terminar mi proyecto.*

*A todos mis amigos que han sido parte de este proceso y que han estado en las buenas y en las malas acompañándome.*

*Al coro que ocupa un lugar muy importante en mi vida, su gente y mi querido maestro.*

*Gracias a todos*

## **RESUMEN**

El presente trabajo describe el diseño de una sala para audiometrías a campo libre en la escuela diferencial Walter Schmidt, ubicada en José Muñoz Hermosilla s/n Valdivia.

En base a los estudios realizados en terreno y mediante software, se proponen dos soluciones para que la sala quede acondicionada adecuadamente para efectuar audiometrías.

En la primera parte del trabajo se describe el marco teórico, definiendo conceptos básicos claves para la comprensión del trabajo. También se incluye una breve explicación sobre los tipos de audiometrías existentes.

En la segunda parte del trabajo se describe el desarrollo del proyecto considerando mediciones en terreno, diseño, soluciones y finalmente las conclusiones.

## **ABSTRACT**

This work describes the conditioning of a room intended to perform free-field audiometric testing at the Walter Schmidt Special School, located in the city of Valdivia. Based on the studies performed both in-situ and those simulated using computer software, two proposals are presented for the suitable conditioning of the room to be used for audiometric tests. The theoretical aspects presented in the first part of this work explain some of the key concepts for understanding the problem. In addition, it is included a brief explanation about the different kinds of audiometric tests currently used in practice.

The second part of this work describes the development of the conditioning plan which considers in-situ measurements, design, the solutions proposed, and finally the concluding remarks.

# INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....                           | <b>1</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                              | <b>2</b>  |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL .....                             | 2         |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                        | 2         |
| <b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....                          | <b>3</b>  |
| 3.1. DEFINICIONES .....                                | 3         |
| 3.2. AUDIOMETRÍA .....                                 | 6         |
| 3.3. TIPOS DE AUDIOMETRÍA .....                        | 6         |
| 3.3.1. <i>Pruebas Subjetivas</i> .....                 | 6         |
| 3.3.1.1. Acumetría .....                               | 6         |
| 3.3.1.2. Audiometría Tonal Liminal .....               | 7         |
| 3.3.1.3. Audiometría de Alta Frecuencia .....          | 7         |
| 3.3.1.4. Audiometría de Békésy .....                   | 8         |
| 3.3.1.5. Audiometría Tonal Supraliminar .....          | 8         |
| 3.3.1.6. Audiometría Lúdica .....                      | 8         |
| 3.3.1.7. Logaudiometría .....                          | 8         |
| 3.3.2. <i>Pruebas Objetivas</i> .....                  | 9         |
| 3.3.2.1. Impedanciometría .....                        | 9         |
| 3.3.2.2. Emisiones Otoacústicas .....                  | 9         |
| 3.3.2.3. Potenciales Evocados Auditivos .....          | 10        |
| 3.4. AUDIOMETRÍA EN CAMPO LIBRE .....                  | 10        |
| 3.5. SALA AUDIOMÉTRICA .....                           | 11        |
| <b>4. NORMAS</b> .....                                 | <b>12</b> |
| <b>5. DESCRIPCIÓN DE LA SALA</b> .....                 | <b>15</b> |
| <b>5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA SALA</b> .....           | <b>15</b> |
| <b>5.2. MEDICIÓN RUIDO DE FONDO</b> .....              | <b>16</b> |
| <b>5.3. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN</b> ..... | <b>17</b> |
| <b>5.4. MEDICIÓN DEL AISLAMIENTO DE LA SALA</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>6. DISEÑO ACÚSTICO DE LA SALA</b> .....             | <b>23</b> |
| <b>6.1 INSUL</b> .....                                 | <b>23</b> |
| <b>6.2 ÍNDICE DE REDUCCIÓN SONORA (STC)</b> .....      | <b>23</b> |
| <b>6.3 CÁLCULO DEL TL DESEADO</b> .....                | <b>24</b> |
| 6.4 TL SIMULADO .....                                  | 26        |
| 6.5. ACONDICIONAMIENTO DE LA SALA .....                | 31        |
| 6.5.1. SOLUCIÓN A .....                                | 31        |
| 6.5.2. SOLUCIÓN B .....                                | 36        |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 6.6 MATERIALES ELEGIDOS.....     | 37        |
| <b>7. ANÁLISIS DE COSTO.....</b> | <b>42</b> |
| <b>8. CONCLUSIONES.....</b>      | <b>44</b> |
| <b>9. REFERENCIAS.....</b>       | <b>45</b> |
| <b>10. ANEXO.....</b>            | <b>46</b> |

# 1. INTRODUCCIÓN

Cada día, se está expuesto a sonidos en el ambiente, como los que provienen del televisor, radio, artefactos electrodomésticos y del tráfico. Normalmente se escuchan estos sonidos a niveles saludables y por lo tanto no afectan la audición. Sin embargo, cuando se está expuesto a ruidos perjudiciales—sonidos que son muy altos, sonidos fuertes que duran un tiempo largo, enfermedades, medicamentos, factores hereditarios—las estructuras delicadas en el oído interno pueden ser dañadas, causando la pérdida de audición ocasionada por el ruido.

Cuando un individuo tiene problemas de audición se debe hacer una prueba llamada audiometría, con el objetivo de medir el nivel auditivo que éste tiene.

La audiometría es la medición cuantitativa y cualitativa de la audición. Este examen permite determinar el umbral auditivo en cada oído y, en caso de que exista un nivel de audición anormal, identificar el sitio de la lesión y otras características auditivas.

La audiometría consta de múltiples pruebas, unas elementales para evaluar perturbaciones más simples y otras más complejas o pruebas más especiales, utilizadas para poner de relieve perturbaciones de mecanismos más complicados.

Las pruebas audiométricas se pueden dividir en dos grandes grupos: subjetivas y objetivas; y son de gran importancia al momento de determinar qué tipo de audiometría hay que realizarle al paciente en cuestión.

En el primer grupo de las pruebas subjetivas, el paciente colabora con el estudio, siendo él el que informa o responde sobre sus percepciones ante los estímulos utilizados. Mientras que en el segundo grupo —el de las pruebas objetivas— la prueba se hace sin la colaboración voluntaria del sujeto examinado.

Para anular la influencia de posibles reflexiones acústicas o ruido de fondo, el examen audiométrico debe hacerse en una sala o cabina revestida con materiales de coeficiente absorción suficientemente altos y con un buen aislamiento acústico.

En Chile, existen muy pocas salas acondicionadas para poder efectuar exámenes audiométricos en campo libre. Esta carencia ha constituido la principal motivación para diseñar una sala con las características necesarias para que las personas con discapacidad auditiva, tengan mayor acceso a un tratamiento adecuado y oportuno para su enfermedad.

En este contexto, la escuela diferencial Walter Schmidt R. ubicada en José Muñoz Hermosilla s/n Valdivia, tiene la infraestructura necesaria para diseñar la sala para audiometrías en campo libre.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar una sala para audiometrías en campo libre en la escuela diferencial Walter Schmidt de la ciudad de Valdivia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar en detalle los requerimientos que debe cumplir la sala, de acuerdo a la norma internacional ISO 8253:2 1992 *Audiometric test methods- Part 2: Sound field audiometry with pure tone and narrow-band test signals*, para diseñar la sala.
2. Analizar las condiciones físicas y acústicas del lugar en donde se implementará la sala audiométrica, mediante visitas a terreno y mediciones de ruido de fondo.
3. Realizar el diseño acústico de la sala, incluyendo el cálculo de costos de implementación.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1. DEFINICIONES

A continuación se definirán algunos conceptos básicos claves que son de utilidad para la comprensión del trabajo.

**Curva de Caída:** Caída del nivel de presión sonora en función del tiempo en un punto del recinto después de que haya cesado la fuente. [UNE-EN-ISO 3382-2001]

**Decibel (dB):** Unidad adimensional usada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, el decibel es usado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora. [D.S. 146 1997]

**Decibel A (dBA):** Es el nivel de presión sonora medido con el filtro de ponderación A. [D.S. 146 1997]

**Eje de Referencia:** Es un eje perpendicular a la superficie radiante del altavoz. Para una bocina o altavoz, el eje pasa por el centro del diafragma o de la bocina. Para múltiples unidades de altavoces, la posición del eje es definida por el fabricante.

**Enmascaramiento:** Se produce cuando un sonido impide la percepción de otro.

**Índice de reducción sonora (STC):** Es una valoración de un número único utilizada para comparar propiedades de aislamiento del sonido en paredes, entrepisos, cubiertas, ventanas o puertas.

**Método del ruido interrumpido:** Método para la obtención de las curvas de caída mediante la grabación directa de la caída del nivel de presión sonora después de excitar un recinto con ruido de banda ancha o de ancho de banda limitado. [UNE-EN-ISO 3382-2001]

**Nivel de Presión Sonora (NPS o SPL):** Se expresa en decibeles (dB) y se define por la siguiente relación matemática:

$$NPS = 10 \log \left( \frac{P_n}{P_0} \right)^2 (dB)$$

$P_n$ : valor eficaz de la presión sonora medida.

$P_0$ : valor eficaz de la presión sonora de referencia, fijado en  $2 \times 10^{-5}$  [N/m<sup>2</sup>]. [D.S. 594 1999]

**Nivel de Presión Sonora Máximo (NPSmax):** Es el máximo Nivel de Presión Sonora registrado durante un período de medición dado. [D.S. 594 1999]

**Nivel de Presión Sonora Mínimo (NPSmin):** Es el mínimo Nivel de Presión Sonora registrado durante un período de medición dado. [D.S. 594 1999]

**Nivel de Presión Sonora Peak (NPSpeak):** Nivel de presión sonora instantánea máxima durante un intervalo de tiempo establecido. No debe confundirse con NPSmáx, ya que éste es el máximo valor eficaz (no instantáneo) en un periodo dado. [D.S. 594 1999]

**Pérdida de transmisión sonora (Transmission Loss TL):**

Se expresa en decibeles (dB) y se define por la siguiente relación matemática,

$$TL = D + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right) dB$$

Donde,

D: Diferencia de nivel, expresado en dB

S: Área del elemento de separación, expresada en m<sup>2</sup>

A: Área de absorción acústica equivalente en el recinto de recepción.

**Punto de Referencia:** El punto medio de una línea recta que une las aberturas del canal del oído del oyente cuando se encuentra en la posición de escucha en el campo de sonido.

**Quasi Campo Libre:** Un campo sonoro donde los límites de la sala sólo ejercen un efecto moderado sobre las ondas sonoras.

**Respuesta Lenta o Slow:** Es la respuesta del instrumento de medición que evalúa la energía media en un intervalo de 1 segundo. Cuando el instrumento mide el nivel de presión sonora con respuesta lenta, dicho nivel se denomina NPS Lento. Si además se emplea el filtro de ponderación A, el nivel obtenido se expresa en dB(A) Lento. [D.S. 594 1999]

**Ruido Estable:** Es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora inferiores o iguales a 5 dB(A) lento, durante un período de observación de 1 minuto. Se entenderá que un ruido es de tipo estable cuando la diferencia entre el NPS<sub>máx</sub> y el NPS<sub>min</sub> obtenidos durante una medición de un minuto, es menor o igual a 5 dB(A). [D.S. 146 1997]

**Ruido de Fondo:** Es aquel ruido que prevalece en ausencia del ruido generado por la fuente fija a medir.

Según la Norma de Emisión de Ruidos Molestos generados por Fuentes Fijas, Decreto Supremo 146-97, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia *“Para la obtención del nivel de presión sonora de ruido de fondo, se medirá NPSeq en forma continua, hasta que se estabilice la lectura, registrando el valor de NPSeq cada cinco minutos. Se entenderá por estabilizada la lectura, cuando la diferencia aritmética entre dos registros consecutivos sea menor o igual a 2 dB(A). El nivel a considerar será el último de los niveles registrados. En ningún caso la medición deberá extenderse por más de 30 minutos.”*

**Tiempo de Reverberación:** Es el tiempo, expresado en segundos, que se requiere para que el nivel de presión sonora disminuya en 60 dB, después del cese de la emisión de la fuente sonora. [UNE-EN-ISO 3382-2001]

**Umbral de Audición:** Es el nivel sonoro por debajo del cual el oído de una persona no detecta ningún sonido. Para los adultos, el nivel de referencia es 0 dB.

## **3.2. AUDIOMETRÍA**

La audiometría es la medición cuantitativa y cualitativa de la audición. Este examen permite determinar el umbral auditivo en cada oído y, en caso de que exista un nivel de audición anormal, identificar el sitio de la lesión y otras características auditivas.

La audiometría consta de múltiples pruebas, unas elementales para evaluar perturbaciones más simples y otras más complejas o pruebas más especiales, utilizadas para poner de relieve perturbaciones de mecanismos más complicados.

## **3.3. TIPOS DE AUDIOMETRÍA**

Las pruebas audiométricas se pueden dividir en dos grandes grupos: subjetivas y objetivas. En las pruebas subjetivas el paciente colabora con el estudio, siendo él el que informa o responde sobre sus percepciones ante los estímulos utilizados, mientras que en las pruebas objetivas la prueba se hace sin la colaboración voluntaria del sujeto examinado.

A continuación se hace una pequeña descripción de los diferentes tipos de audiometrías existentes.

### **3.3.1. Pruebas Subjetivas**

#### **3.3.1.1. Acumetría**

Método para medir cualitativamente el nivel de pérdida auditiva. Existen dos tipos de acumetrías, la primera es la acumetría fónica y la segunda la acumetría instrumental.

La acumetría fónica se realiza a través de un examen de voz y la acumetría instrumental a través de diapasones; siendo el Test de Rinne y el de Weber los más usados.

Los diapasones son instrumentos metálicos capaces de ser puestos en vibración a frecuencias determinadas y estables, dadas por sus características estructurales. La gama de frecuencias más utilizadas con los diapasones va de los 125 Hz. a 4096 Hz.

La prueba de Rinne tiene por objeto comparar la audición de un sonido transmitido por vía ósea, con la audición del mismo sonido transmitido por vía aérea. Se efectúa apoyando la base del diapasón contra la mastoides, mientras se cuenta o se cronometra el tiempo que transcurre hasta que el paciente deja de oír el sonido, tras lo cual el diapasón (aún vibrando) se coloca rápidamente delante y a 1-2 cm del conducto auditivo, cronometrando también el tiempo durante el cual el paciente puede aún oír el sonido mediante conducción aérea.

La prueba de Weber consiste en colocar el diapasón en vibración sobre el vértice de la línea media de la cabeza del paciente, preguntando al sujeto en que oído percibe más intenso el sonido. El sonido debe escucharse por igual en ambos oídos. Si el sonido se escucha más en un lado que en otro, pregúntele por cuál de los dos oídos lo escucha mejor y, para verificar el grado de fiabilidad de la respuesta del paciente, repita la prueba tapando uno de los oídos, el sonido deberá escucharse mejor en el oído tapado. Es un método tedioso de efectuar y que no tiene objeto en la actualidad con el uso del audiómetro electrónico.

### 3.3.1.2. Audiometría Tonal Liminal

Es una técnica que permite cuantificar la pérdida de audición de una persona en las diferentes frecuencias. Este procedimiento consiste en buscar el umbral mínimo de audición y pueden llevarse a cabo por vía aérea o vía ósea.

El examen audiométrico liminal por vía aérea se efectúa una vez que el paciente entienda el procedimiento y así tener una respuesta verídica. Se indica al sujeto que levante la mano en cuanto tenga la mínima sensación auditiva y la mantenga hasta que deje de percibir el tono.

Se comienza con el tono de 1.000 Hz. poniendo la intensidad mínima del audiómetro, aumentando poco a poco hasta que el paciente perciba el sonido. Se repite para las otras frecuencias alternando frecuencias altas con bajas.

El examen audiométrico liminal por vía ósea se efectúa colocando el vibrador perfectamente con la mastoide y procurando que no toque el pabellón de la oreja. El procedimiento de examen es idéntico al utilizado para la vía aérea.

### 3.3.1.3. Audiometría de Alta Frecuencia

La audiometría de alta frecuencia examina la capacidad auditiva en el área del oído interno más externa y expuesta, donde se dañan inicialmente las primeras células auditivas. La audiometría de alta frecuencia permite identificar tempranamente la pérdida auditiva cuando las personas todavía no son conscientes de que están perdiendo audición. Este tipo de audiometría permite examinar mediante umbrales por vía aérea. Se utilizan audiómetros especiales capaces de emitir tonos puros de altas frecuencias, entre los 8.000 y 20.000 Hz.

#### 3.3.1.4. Audiometría de Békésy

Este método permite estudiar el nivel de audición que tiene el sujeto presionando un botón de señal mientras oye un tono puro que disminuye progresivamente de intensidad, retirando la presión cuando deja de oír ese sonido. En este estudio se utilizan tonos continuos e interrumpidos.

El audiómetro registra sobre el papel las oscilaciones de dicho umbral. La percepción de este umbral es muy precisa, la amplitud de las oscilaciones disminuye.

#### 3.3.1.5. Audiometría Tonal Supraliminar

Ésta técnica se utiliza para explorar la audición que emplea estímulos de intensidad muy por encima del umbral. Se trata principalmente de denotar la existencia de reclutamiento y estudiar la fatiga auditiva y la adaptación auditiva. A continuación se describirá brevemente cada uno de éstos fenómenos.

Se entiende por reclutamiento el hecho de que un oído sordo oye con más intensidad que un oído normal los sonidos muy fuertes. Se observa en las hipoacusias de percepción ocasionadas por una lesión coclear.

La fatiga auditiva es un fenómeno patológico, ya que persiste cuando el paciente ya abandonó el entorno ruidoso.

La adaptación auditiva es un fenómeno fisiológico por el que un individuo percibe un aumento en su umbral auditivo tras permanecer expuesto durante cierto tiempo a un ruido intenso.

#### 3.3.1.6. Audiometría Lúdica

Es un método basado en juegos didácticos, atractivos y motivadores para medir el nivel de audición únicamente a niños pequeños. Se asegura la colaboración del niño permitiéndole como recompensa para el aviso de un tono percibido un acto lúdico.

#### 3.3.1.7. Logoaudiometría

En estas pruebas en vez de utilizar tonos puros como estímulo, se emplean determinadas palabras bisílabas.

Para que las palabras empleadas en logoaudiometría sean útiles tienen que tener: Significado para el paciente, diferenciación fonética, proporcionalidad entre los diferentes sonidos de que se componga el idioma e igual audibilidad (todas las palabras deben de ser igualmente fáciles de captar por el oído para que la probabilidad en todos los casos sea la misma).

La prueba se efectúa colocando al paciente dentro de la cámara audiométrica haciéndole comprender que debe repetir las palabras que se le van a ir pasando a través del micrófono del audiómetro.

Con esta prueba no se puede saber qué nivel de audición tiene el paciente frecuencia a frecuencia, pero aporta una idea global de ésta.

### 3.3.2. Pruebas Objetivas

#### 3.3.2.1. Impedanciometría

Prueba objetiva para medir sobre todo la función del oído medio e interno. El examen se realiza con un aparato electrónico llamado impedanciómetro, que tiene como principio el envío de una onda sonora de 220 Hz. al Conducto Auditivo Externo (CAE) registrando la contracción del músculo del estribo en respuesta a estímulos sonoros intensos (reflejo acústico). Con el impedanciómetro se pueden efectuar las siguientes exploraciones audiológicas: Estado de la trompa de Eustaquio, impedancia física o absoluta, medida del reflejo timpánico y medida de la compliancia timpánica con diferentes presiones.

#### 3.3.2.2. Emisiones Otoacústicas

Las emisiones otoacústicas son sonidos generados por la cóclea, específicamente por las células ciliadas externas.

El procedimiento se realiza con un aparato de evaluación portátil. Se introduce una pequeña sonda en el conducto auditivo del niño, la sonda introduce un sonido de bajo volumen en el oído. La cóclea responde con una emisión otoacústica, a veces descrita como un “eco” que pasa de vuelta por el oído medio al conducto auditivo y es analizado por el aparato de evaluación.

Es un examen que sirve para ver la integridad de la cóclea, y se negativiza cuando existe una hipoacusia mayor a 30 dB. Es simple de hacer, es objetivo y no requiere de la colaboración del paciente.

### 3.3.2.3. Potenciales Evocados Auditivos

Registro mediante electrodos del potencial generado por un estímulo auditivo a nivel del tronco cerebral. Para hacer este examen, se colocan electrodos en el cráneo, los cuales registran actividad neuronal de la vía auditiva cuando el sonido (en forma de clicks) se le aplica al paciente por conducción aérea. Cada oído es examinado individualmente.

## 3.4. AUDIOMETRÍA EN CAMPO LIBRE

Se define como la valoración de la audición con el paciente en una sala acondicionada, emitiendo sonidos o palabras mediante una serie de altavoces dispuestos a su alrededor. Se utiliza para determinar umbrales auditivos y comprobar la eficacia de los audífonos.

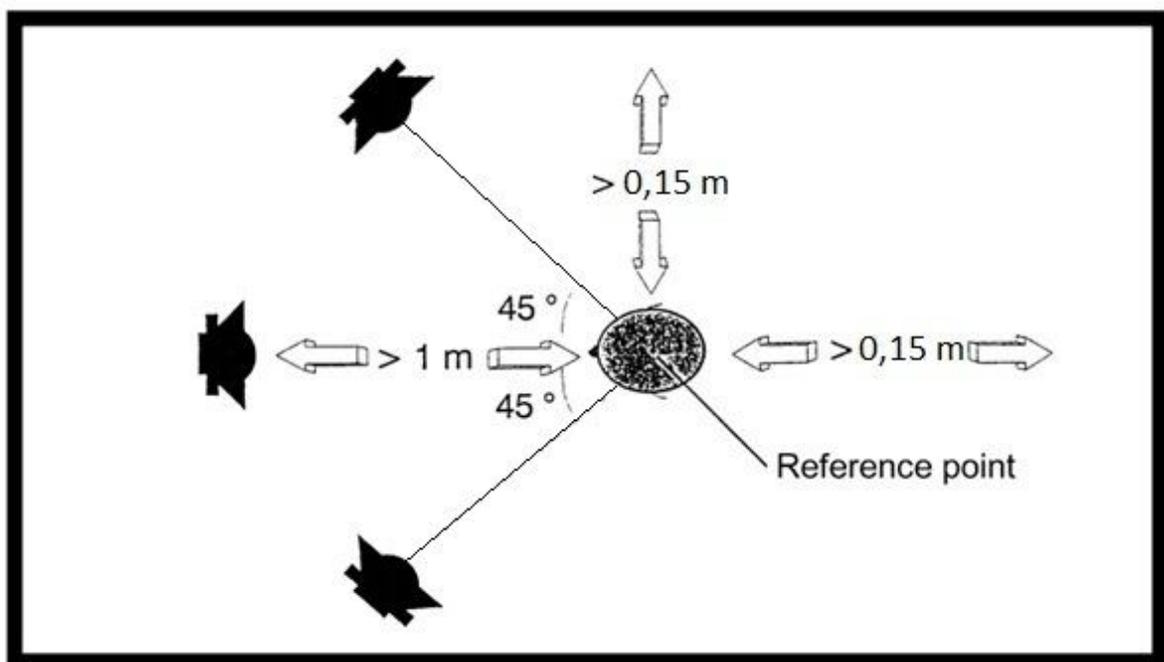


Figura 1: Posición de los altavoces y punto de referencia.

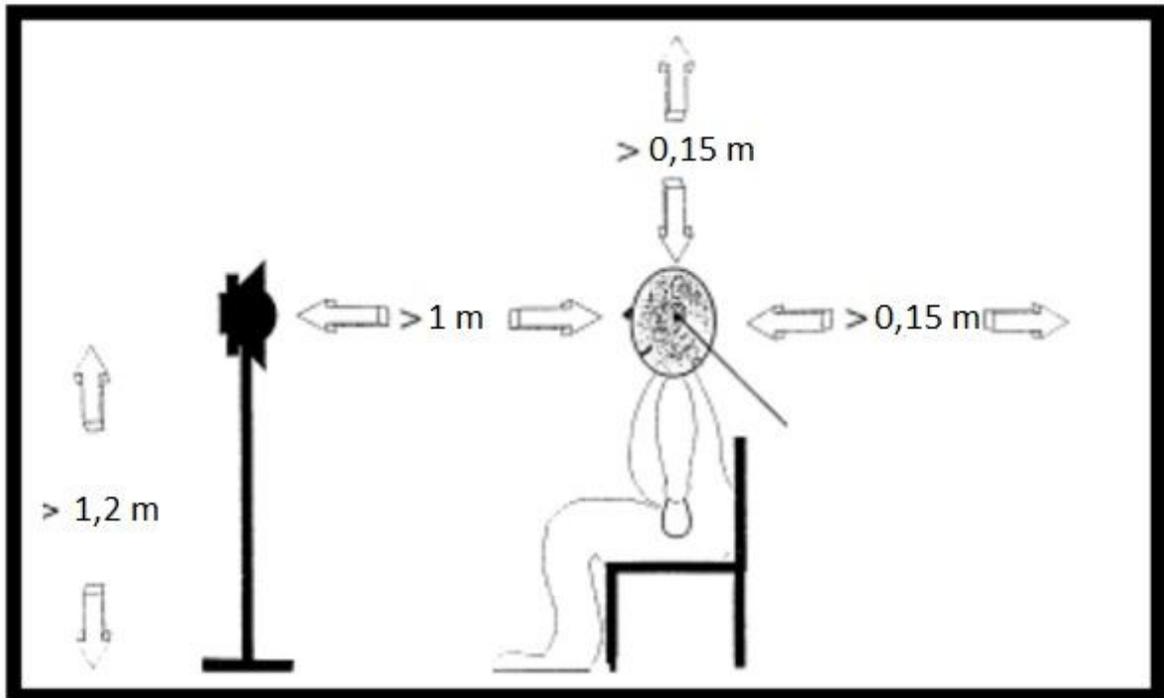


Figura 2: Posición de los altavoces y punto el de referencia.

### 3.5. SALA AUDIOMÉTRICA

Una sala audiométrica es un recinto especialmente diseñado para proporcionar en su interior un ambiente apto para la ejecución de exámenes de tipo audiométrico.

El nivel del ruido de fondo en su interior no debe exceder los criterios establecidos según la especificidad de la audiometría, debiendo estar equipada con un sistema de ventilación que permita la renovación de aire en su interior. Estos criterios de ruido de fondo apuntan a garantizar que los tonos de prueba emitidos por el audiómetro, no sean enmascarados por ruidos externos y por ende, éstos no incidan en las respuestas del paciente.

## 4. NORMAS

Respecto a las condiciones que se deben cumplir en la sala audiométrica, la norma ISO 8253:2 1992 *Audiometric test methods - Part 2: Sound field audiometry with pure tone and narrow-band test signals*, dice que para establecer condiciones de quasi campo libre, deberán cumplirse los siguientes requisitos.

- a) El altavoz se dispondrá a la altura de la cabeza del oyente sentado, el eje de referencia se dirige a través del punto de referencia. La distancia entre el punto de referencia y el altavoz será de al menos 1 metro.
- b) Con el sujeto a prueba y la silla del sujeto ausente y mantenidas todas las otras condiciones de trabajo, el nivel de presión sonora producido por el altavoz a 0,15 metros desde el punto de referencia de izquierda-derecha y arriba-abajo no debe desviarse no más de  $\pm 2$  dB del nivel de presión sonora del punto de referencia para cualquiera de las señales de prueba.
- c) Con el sujeto a prueba y la silla del sujeto ausente, la diferencia de nivel de presión sonora producido por el altavoz en puntos donde el eje de referencia está a 0,1 metros en frente y 0,1 metros detrás del punto de referencia, se desviará del valor teórico dado por la ley inversa al cuadrado por no más de  $\pm 1$  dB para cualquiera de las señales de prueba.

El rango de frecuencia utilizable para el quasi campo libre es definido por el rango de frecuencia en el que estos requerimientos sean cumplidos.

En la siguiente tabla se muestra el nivel de presión sonora permisible de ruido de fondo en banda de tercio de octava,  $L_{\max}$ , para audiometría.

**Cuadro 1 Nivel de presión sonora permisible de ruido de fondo en banda de tercio de octava,  $L_{max}$ , para audiometría.**

| Frecuencia media de un tercio de banda de octava (Hz) | Nivel de presión sonora máximo permisible, $L_{max}$ (ref, 20 uPa) (dB)<br>Prueba de tono de frecuencia más bajo |        |
|---|--|--------|
|   | 125 Hz   | 250 Hz |
| 31,5  | 52   | 60     |
| 40  | 44   | 53     |
| 50  | 38   | 46     |
| 63  | 32   | 41     |
| 80  | 27   | 36     |
| 100   | 22   | 32     |
| 125   | 17   | 25     |
| 160   | 14   | 18     |
| 200   | 12   | 12     |
| 250   | 10   | 10     |
| 315   | 8  | 8      |
| 400   | 6  | 6      |
| 500   | 5  | 5      |
| 630   | 5  | 5      |
| 800   | 4  | 4      |
| 1000  | 4  | 4      |
| 1250  | 4  | 4      |
| 1600  | 5  | 5      |
| 2000  | 5  | 5      |
| 2500  | 3  | 3      |
| 3150  | 1  | 1      |
| 4000  | -1   | -1     |
| 5000  | 1  | 1      |
| 6300  | 6  | 6      |
| 8000  | 12   | 12     |
| 10000   | 14   | 14     |
| 12500   | 15   | 15     |

Fuente: ISO 8253-2

Nota

1. Utilizando los valores que figuran en la tabla 1, el nivel más bajo del umbral de audición a medir es de 0 dB, con un rango de error de + 2 dB debido al ruido ambiente. Si se permite un rango de error de + 5 dB debido al ruido ambiente, los valores en la tabla 1 podrán incrementarse en 8 dB. Los valores son derivados de la ISO 8253-1, asumiendo condiciones de escucha en ambos oídos.
2. Cuando el ruido de banda estrecha se utiliza como una señal de prueba, el nivel de presión sonora máximo permisible de ruido de fondo debe ser inferior a lo especificado en la tabla 1.
3. Con la mayoría de los actuales sonómetros es difícil medir los niveles de presión sonora por debajo de los 5 dB.

Existen otras normas internacionales referentes a mediciones audiométricas y a campo libre (ANSI S3.46:1997 Methods of Measurement of Real-Ear Performance Characteristics of Hearing Aids, entre otras), lamentablemente no se tuvo acceso gratis en internet, todas tienen costos muy altos a los que no se pudo acceder. Por esta razón, no se pudo hacer la comparación de esas normas con la ISO 8253.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA SALA

### 5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA SALA

La sala, donde se proyectará el diseño, de la escuela diferencial Walter Schmidt, se encuentra ubicada en José Muñoz Hermsilla s/n Valdivia, zona calificada como zona II. Es un sector bastante transitado, ya que cerca de la Escuela, se encuentra el Hospital Regional de Valdivia, el Colegio Windsor School, locales comerciales, etc.

La sala de la escuela Walter Schmidt presenta un bajo ruido de fondo en horario de clase, ya que a pesar de ser un sector bastante transitado, la sala se encuentra en el patio interior de la Escuela, por lo que el edificio principal actúa como barrera acústica del ruido exterior. No obstante, en el horario donde los niños están en recreo, el ruido de fondo aumenta notoriamente.

Esta sala se caracteriza por tener muros de hormigón, suelo y techo de madera (debajo del suelo y techo de madera una losa de hormigón) y una ventana que da hacia el patio interior. Por ser una sala hecha de hormigón, presenta un mayor aislamiento acústico, pero también aumenta la reverberación al interior de la sala.

Las dimensiones de la sala son 3,4 x 2,4 x 2,77 metros. La ventana es de 1,14 x 1,4 metros y la puerta de 0,8 x 2,07 metros.

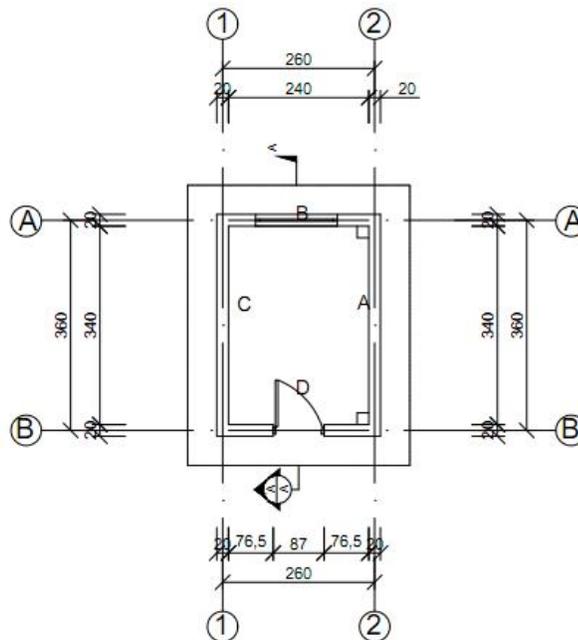


Figura 3: Dimensiones sala

Se ha podido establecer a partir de los antecedentes disponibles que además del cielo interior de madera se tiene una losa de hormigón, estructura de madera y cubierta exterior.

## 5.2. MEDICIÓN RUIDO DE FONDO

Las mediciones de ruido de fondo se realizaron con un sonómetro marca Rion NL-22 (analizador de espectros) y se desarrollaron dentro de la sala en dos horarios distintos. El primero se realizó en el horario donde los niños salen a recreo, entre las 10.15 y 10.45 AM. En estos 30 minutos de recreo, existen ruidos de niños jugando y música. El segundo se realizó en el horario de clases, alrededor de las 12.00 PM.

Los días de actividad habitual son de lunes a viernes con un recreo entre 10.15 y 10.45 horas, terminando la jornada escolar a las 13.00 horas.

Obtenidas las mediciones del ruido de fondo se grafican las curvas para los dos horarios y una tercera curva que es el promedio de las dos.

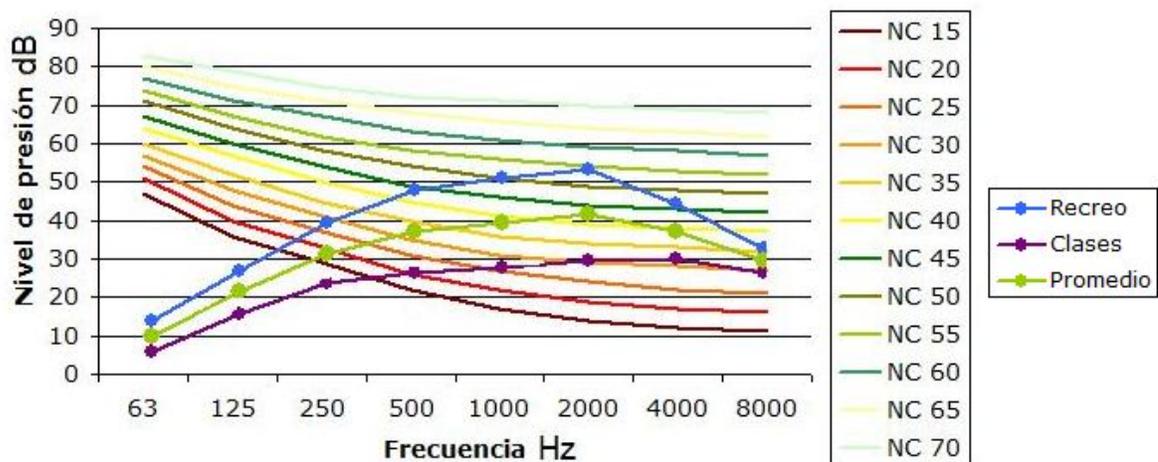


Figura 4: Ruido de fondo y Curvas NC

En el horario del recreo, la curva de nivel de ruido de fondo corresponde a una curva NC-55, ya que en todos sus puntos se encuentra bajo ese valor. Esta curva ratifica que el ruido presente en el local no es el adecuado para el diseño de la sala audiométrica.

Para el periodo de clases, la curva de nivel de ruido de fondo corresponde a una curva NC – 35. Este último valor se encuentra dentro de lo recomendable para una sala de clases u oficina. A pesar de tener un valor bajo, igualmente se debe acondicionar para poder realizar evaluaciones audiométricas.

### **5.3. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN**

Los materiales y equipos que se utilizaron para medir el tiempo de reverberación son los siguientes:

- 1 Sonómetro Cesva Modelo SC 310
- 1 Mesa Phonic MU 502
- 1 Fuente Omnidireccional del instituto de acústica
- 1 Amplificador TASCAM PA-20MKII
- 1 CD de ruido
- 1 Reproductor de CD Marca Phillips
- Cables y conectores varios

Para medir el tiempo de reverberación se ubicaron dos posiciones de fuente y tres posiciones de puntos para cada posición de fuente. Se utilizó el método de señal de ruido interrumpida, la cual consiste en promediar varias curvas de caídas o tiempo de reverberación, medidos en una posición de altavoz y micrófono, para obtener una repetibilidad adecuada.

Las mediciones del tiempo de reverberación deben realizarse en las bandas de tercio de octava entre los rangos de los 100 a los 5000 Hz.

Luego de obtener todos los datos necesarios para el cálculo de la curva de caída, se hizo un promedio aritmético el que está especificado en el anexo.

Los resultados de la medición se detallan en la figura 5, que resume las dos posiciones en las que fue colocada la fuente y las 6 mediciones realizadas con el micrófono. En la figura se muestra el promedio de tres mediciones por posición de fuente, dando como resultado una sola curva para cada posición.

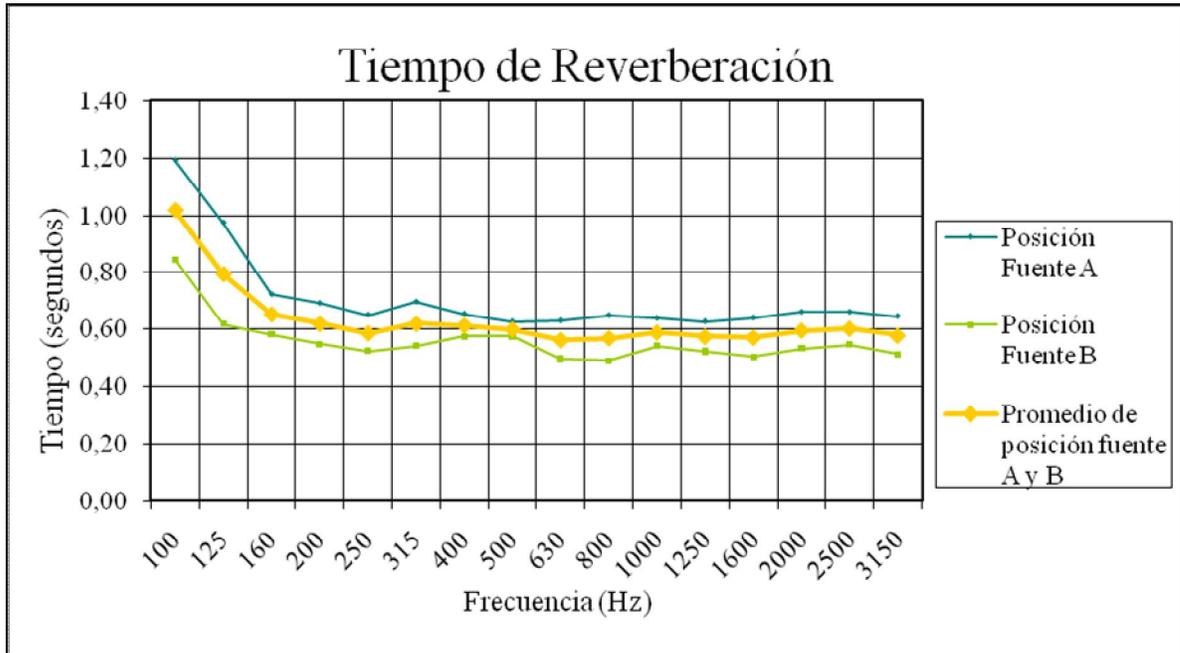


Figura 5: Medición tiempo de reverberación dos posiciones de fuente

A través del figura 5 se observa la reverberación existente dentro de la sala. El valor del tiempo de reverberación para los 500 Hz de la sala es 0,6 segundos.

#### 5.4. MEDICIÓN DEL AISLAMIENTO DE LA SALA

Cuando una onda sonora alcanza un elemento constructivo, un porcentaje del sonido es reflejado, otro es absorbido y otro porcentaje transmitido. El aislamiento que ofrece el elemento es la diferencia entre la energía incidente y la energía transmitida, es decir, el aislamiento equivale a la suma de la parte reflejada y la parte absorbida.

Para medir el aislamiento acústico se instala el elemento a medir entre dos salas, las cuales serán designadas como sala emisora y sala receptora.

Para tener conocimiento del aislamiento acústico actual de la sala donde se acondicionará acústicamente para que cumpla con una sala de audiometría, la medición se basó en la Norma Chilena 2785: Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción-Mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos.

El equipamiento utilizado para la medición del aislamiento acústico en el colegio Walter Schmidt de Valdivia fue el siguiente:

1 Sonómetro Cesva Modelo SC 310

1 Mesa Phonic MU 502

1 Fuente Omnidireccional del Instituto de Acústica

1 Amplificador TASCAM PA-20MKII

1 CD de ruido

1 Reproductor de CD Marca Phillips

Cables y conectores varios

Se ubicó una fuente omnidireccional en tres sectores con dos posiciones de fuente en cada sector, tal como se muestra en la figura 6. Se hicieron cinco mediciones para cada posición de fuente (S1, S2, S3, S4, S5), distanciadas a 1 metro de la fuente y 0,5 metros de distancia entre sí. Todas las mediciones se realizaron en modo slow y en bandas de tercio de octava. Frecuentemente se considera como rango de interés el rango de frecuencias comprendido entre 100 Hz. y 3150 Hz. Las mediciones se realizaron con ruido blanco.



Figura 6: Posiciones de fuentes y puntos de medición.

Teniendo las mediciones, se obtiene el promedio energético de los cinco puntos por fuente y luego se promedia los dos promedios energéticos (ambas fuentes). La fórmula utilizada para el cálculo del promedio energético es la siguiente:

$$L_{promedio} = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \left( 10^{(0,1 \cdot L_i)} \right) \right] (dB)$$

Donde,

N: número de puntos medidos

Li: Nivel medido

Luego de tener el promedio energético, se calcula la pérdida de transmisión sonora (Transmission Loss, TL) y así poder ver el aislamiento actual que tiene la sala.

Para el cálculo del TL es utilizada la siguiente ecuación matemática:

$$TL = D + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right) (dB)$$

Donde,

D: Diferencia de nivel, expresada en decibeles.

S: Área del elemento de separación, expresada en metros cuadrados.

A: Área de absorción acústica equivalente en el recinto de recepción, expresada en metros cuadrados.

El TL es la diferencia entre los niveles medios de presión sonora de la habitación fuente y la habitación receptora (expresado en decibeles). La habitación fuente es aquel espacio en donde se genera el ruido y la habitación receptora es donde se recibe una parte del ruido generado. Usualmente las dos habitaciones descritas se encuentran separadas por un muro. A menos energía sonora que se transmita a través del muro, mayor será la pérdida por transmisión.

Nota: En el anexo entregan detalles los resultados obtenidos para la obtención TL.

A continuación, se muestran las curvas del TL y un breve análisis de cada una de ellas.

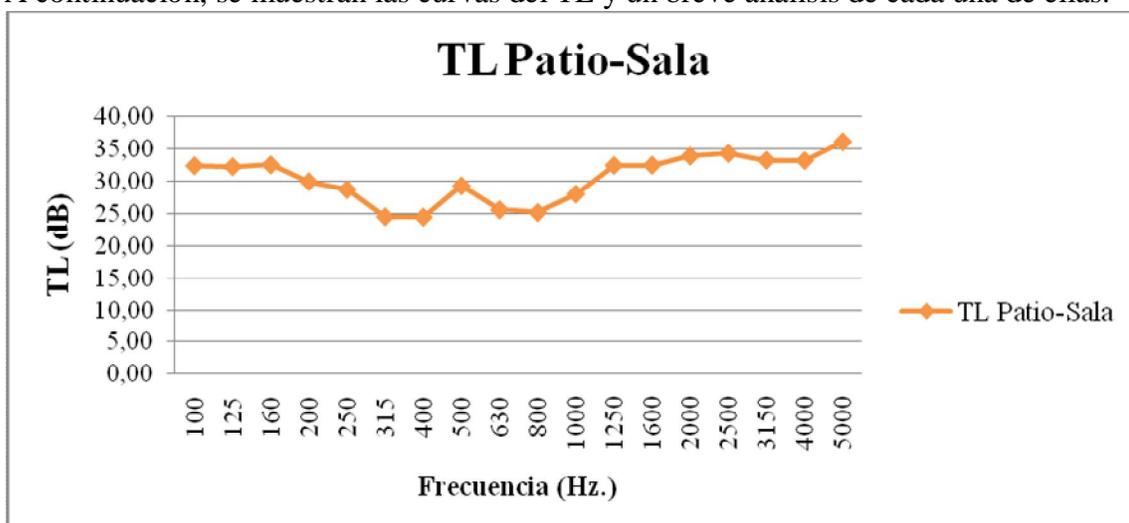


Figura 7: Curvas TL Patio Sala

En la figura Patio-Sala se observa que la forma de la curva es bastante plana. Para frecuencias bajas (100-400 Hz.) tiene un decaimiento de unos 7 dB, esto se debe a que la ventana está dividida en cinco ventanas más pequeñas y estas divisiones pueden causar el comportamiento de la curva en frecuencias bajas. Después de los 800 Hz la curva tiene un decaimiento suave hasta los 2500 Hz y luego crece a frecuencias medias - altas.

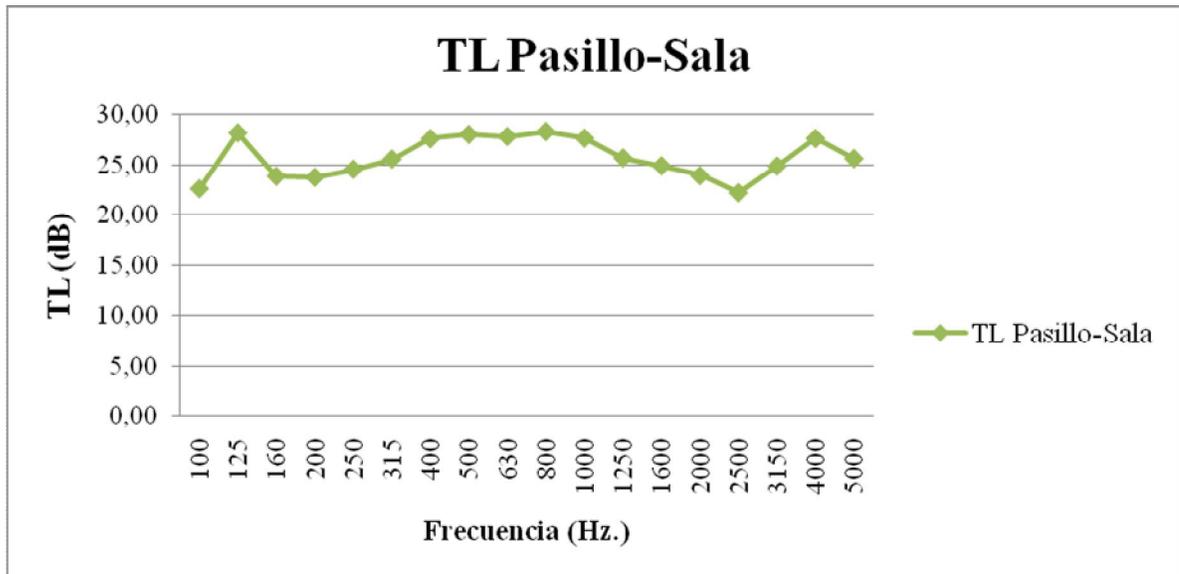


Figura 8: Curva TL Pasillo Sala

Entre los 100 y los 125 Hz existe un alza en el TL de unos 6 dB. Luego, la curva se comporta relativamente plana hasta los 2500 Hz. De los 2500 Hz en adelante existe nuevamente un alza de aproximadamente 6 dB.

De acuerdo con lo visto hasta ahora, el diseño acústico se basará en mejorar el aislamiento actual de la sala, acondicionándola acústicamente para que cumpla con lo que requiere una sala para audiometría.

Se ha podido establecer a partir de los antecedentes disponibles que además del cielo interior de madera se tiene una losa de hormigón. De acuerdo a lo anterior en el techo se conforma una partición del tipo "Tabique de madera + Pared pesada de Hormigón + estructura de madera y cubierta exterior" (partición triple), para la cual resulta razonable asumir un aislamiento acústico suficientemente alto, en comparación a las paredes. Debido a lo anterior el diseño se basa fundamentalmente en mejorar el aislamiento de las paredes, puertas y ventanas.

## **6. DISEÑO ACÚSTICO DE LA SALA**

La contaminación acústica hoy en día es una de las causas más importantes de stress y cansancio mental. Como este mal afecta tanto en el trabajo como en el hogar, es imprescindible la búsqueda de una solución que permita resolver con facilidad y eficiencia los problemas de transmisión de ruido existentes.

Para acondicionar satisfactoriamente la sala elegida en la Escuela Diferencial Walter Schmidt R. en la ciudad de Valdivia, se estudiará y plantearán distintas soluciones para que la sala quede acondicionada para salas de audiometría.

### **6.1 INSUL**

En este capítulo se mostrará el TL estimado en INSUL, que tienen los tres posibles caminos por donde se transmiten las ondas sonoras (muro hormigón, puerta y ventana). Se encontrará el TL deseado y describirán las soluciones para que la sala quede acondicionada y cumpla con las normas requeridas.

De Marshall Day Acoustics (<http://www.insul.co.nz/>), es un programa para predecir el aislamiento acústico de paredes, pisos, techos y ventanas.

Permite modelar materiales empleando la ley de la masa y la frecuencia crítica de los materiales, permitiendo correcciones por efectos de paneles gruesos. INSUL realiza estimaciones de las pérdidas de transmisión (TL) en tercios de octavas, índice de reducción sonora (STC) y aislamientos a ruidos de impactos.

### **6.2 ÍNDICE DE REDUCCIÓN SONORA (STC)**

Es una valoración de un número único utilizada para comparar propiedades de aislamiento del sonido en paredes, entrepisos, cubiertas, ventanas o puertas. El índice de transmisión del sonido se obtiene a partir de la pérdida por transmisión entre las frecuencias de 63 – 4.000 Hz. Cuanto mayor es este número, mayor es el aislamiento sonoro que aporta la construcción. Este índice no tiene dimensiones y es el que se utiliza con mayor frecuencia en Estados Unidos.

### 6.3 CÁLCULO DEL TL DESEADO

El TL deseado para patio-sala y pasillo-sala está dado por la diferencia del Nivel de presión sonora actual, con el Nivel de presión sonora requerido. A esto, se le suma el TL medido para ambos casos.

A continuación se tabularán y graficarán ambos casos a estudiar.

Tabla 1: Cálculo del aislamiento deseado de la sala.

| Pasillo-Sala      |             |             |             |             |             |             |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Frecuencia (Hz.)  | 125         | 250         | 500         | 1000        | 2000        | 4000        |
| NPS Actual        | 27,4        | 40,3        | 48,9        | 51,9        | 54,3        | 45,4        |
| NPS Requerido     | 17          | 10          | 5           | 4           | 5           | -1          |
| TL Medido         | 28,2        | 24,6        | 28          | 27,7        | 24          | 27,7        |
| <b>TL deseado</b> | <b>38,6</b> | <b>54,9</b> | <b>71,9</b> | <b>75,6</b> | <b>73,3</b> | <b>74,1</b> |

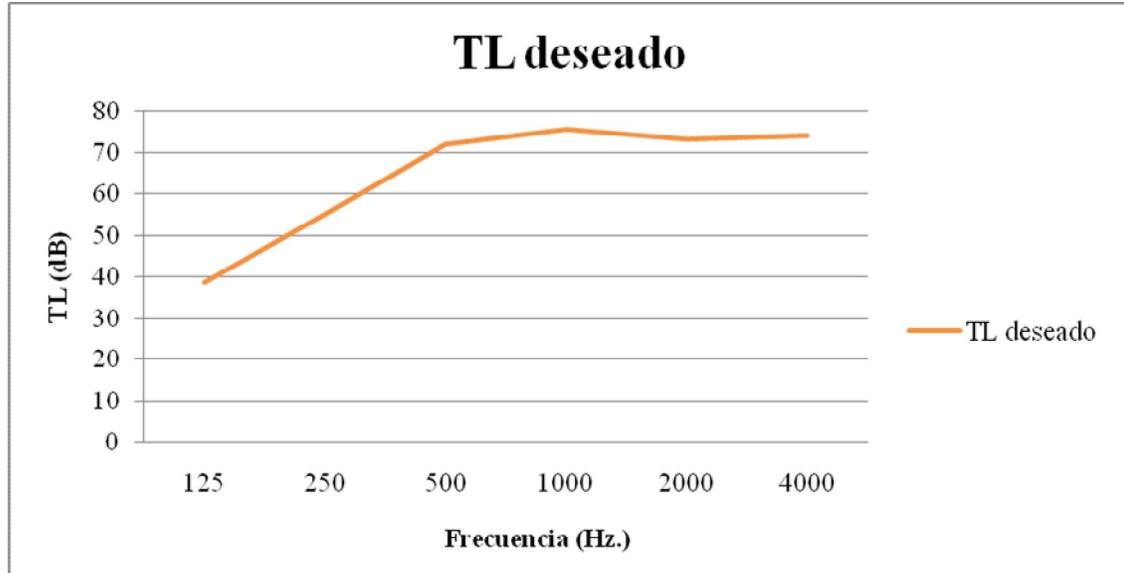


Figura 9: Curva del TL deseado para Pasillo-Sala.

Tabla 2: Cálculo del aislamiento deseado de la sala.

| <b>Patio-Sala</b>       |             |            |             |             |             |             |
|-------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Frecuencia (Hz.)</b> | <b>125</b>  | <b>250</b> | <b>500</b>  | <b>1000</b> | <b>2000</b> | <b>4000</b> |
| NPS Actual              | 27,4        | 40,3       | 48,9        | 51,9        | 54,3        | 45,4        |
| NPS Requerido           | 17          | 10         | 5           | 4           | 5           | -1          |
| TL medido               | 32,3        | 28,7       | 29,3        | 28          | 34          | 33,2        |
| <b>TL deseado</b>       | <b>42,7</b> | <b>59</b>  | <b>73,2</b> | <b>75,9</b> | <b>83,3</b> | <b>79,6</b> |

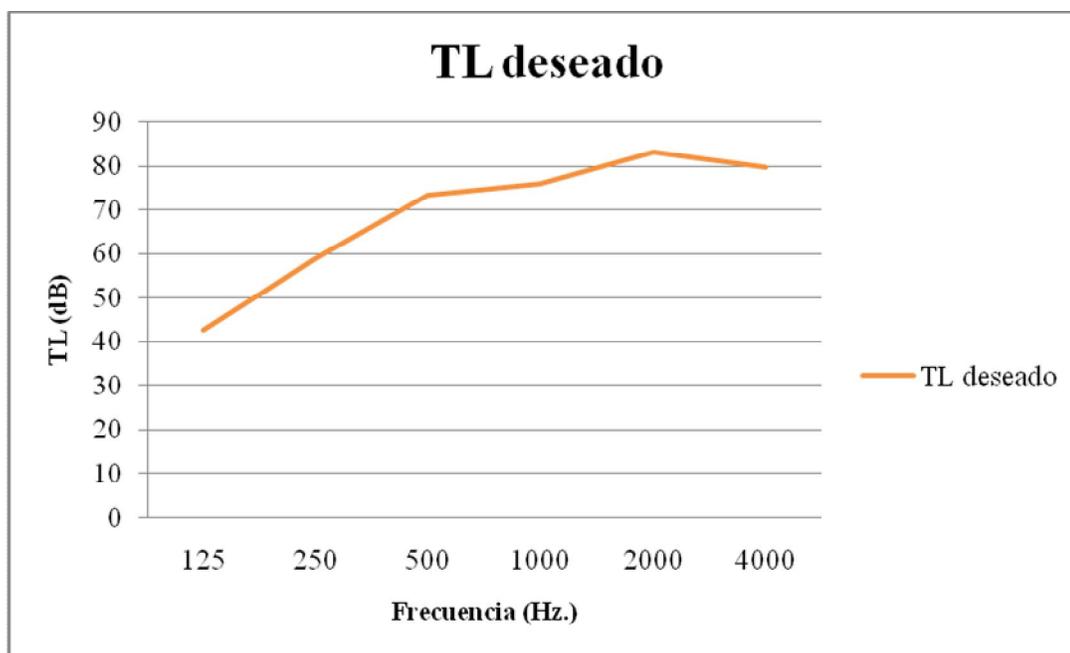


Figura 10: Curva del TL deseado para Patio-Sala.

Se simuló en INSUL como es el comportamiento del muro de hormigón de 20 cm., la puerta de madera maciza y una ventana con cristal simple. Esto se hizo para después compararlo con el TL deseado y estimar cuánto es el aislamiento que se requiere aumentar.

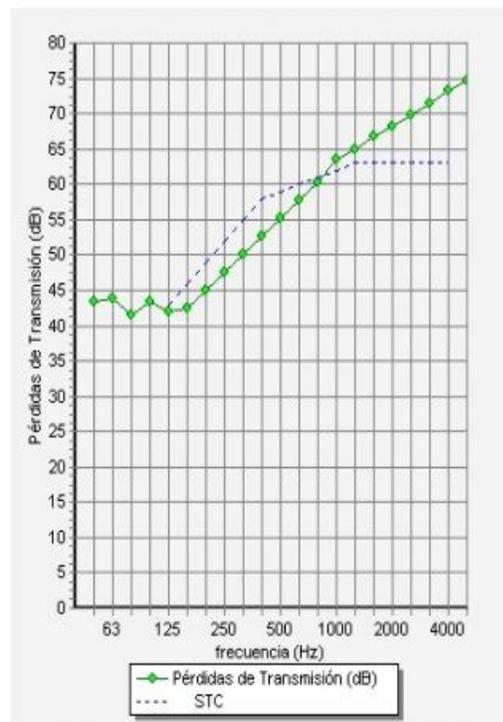
## 6.4 TL SIMULADO

A continuación se muestra mediante un gráfico y su respectiva tabla, los valores de TL que se obtienen al estimar un hormigón de 20 centímetros de espesor, una puerta de madera maciza y una ventana con cristal simple.

Tabla 3: Respuesta de frecuencia TL para muro hormigón de 20 cm.

| frecuencia (Hz) | TL(dB) | TL(dB) |
|-----------------|--------|--------|
| 50              | 43     |        |
| 63              | 44     | 43     |
| 80              | 41     |        |
| 100             | 43     |        |
| 125             | 42     | 43     |
| 160             | 43     |        |
| 200             | 45     |        |
| 250             | 47     | 47     |
| 315             | 50     |        |
| 400             | 53     |        |
| 500             | 55     | 55     |
| 630             | 58     |        |
| 800             | 60     |        |
| 1000            | 63     | 63     |
| 1250            | 65     |        |
| 1600            | 67     |        |
| 2000            | 68     | 68     |
| 2500            | 70     |        |
| 3150            | 71     |        |
| 4000            | 73     | 73     |
| 5000            | 75     |        |

Figura 11: Curva de respuesta de frecuencia TL para muro hormigón de 20 cm.

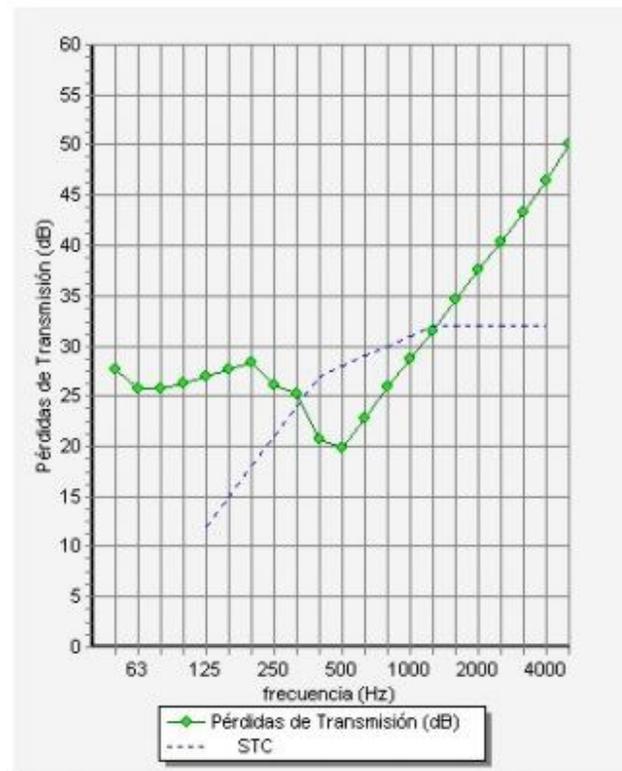


La figura 11 muestra que en frecuencias bajas, hasta los 200 Hz, la curva tiene un comportamiento bastante plano. Desde los 250 Hz hasta los 4000 Hz tiene un comportamiento similar a la curva punteada entre los rangos 45 dB a 73 dB aproximadamente. Su STC es de 59 dB.

Tabla 4: Respuesta de frecuencia TL para puerta de madera maciza De 5 cm. espesor.

| frecuencia (Hz) | TL(dB) | TL(dB) |
|-----------------|--------|--------|
| 50              | 28     |        |
| 63              | 26     | 26     |
| 80              | 26     |        |
| 100             | 26     |        |
| 125             | 27     | 27     |
| 160             | 28     |        |
| 200             | 28     |        |
| 250             | 26     | 26     |
| 315             | 25     |        |
| 400             | 21     |        |
| 500             | 20     | 21     |
| 630             | 23     |        |
| 800             | 26     |        |
| 1000            | 29     | 28     |
| 1250            | 32     |        |
| 1600            | 35     |        |
| 2000            | 38     | 37     |
| 2500            | 40     |        |
| 3150            | 43     |        |
| 4000            | 46     | 46     |
| 5000            | 50     |        |

Figura 12: Curva de respuesta de frecuencia TL para puerta de madera maciza de 5 cm. espesor.

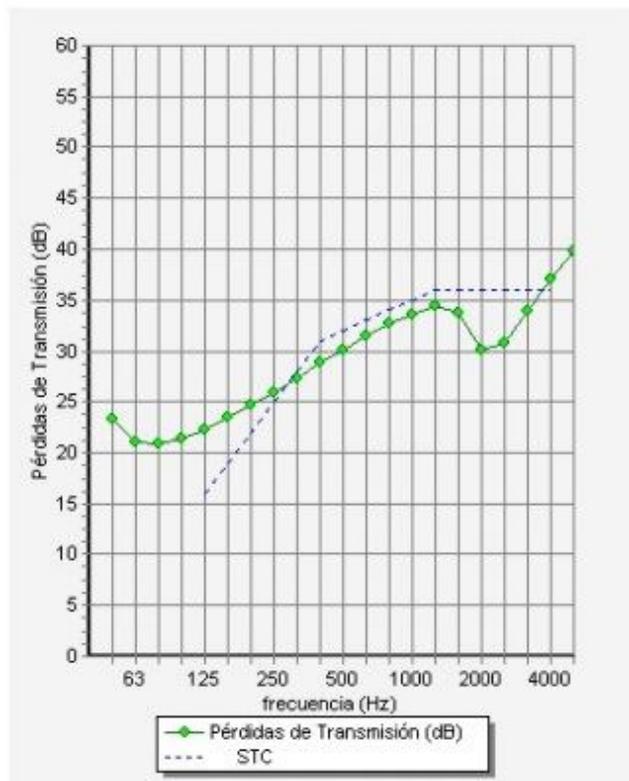


En la figura 12 se muestra que en las frecuencias bajas hasta los 200 Hz la curva tiene un comportamiento relativamente plano con una leve ascendencia, entre los 25 y los 30 dB. Luego decae bruscamente hasta los 500 Hz a 20 dB y hasta los 4000 Hz asciende en línea recta, llegando a 50 dB. Su STC es de 28 dB.

Tabla 5: Respuesta de frecuencia TL para ventana con cristal simple.

| frecuencia (Hz) | TL(dB) | TL(dB) |
|-----------------|--------|--------|
| 50              | 23     |        |
| 63              | 21     | 22     |
| 80              | 21     |        |
| 100             | 21     |        |
| 125             | 22     | 22     |
| 160             | 23     |        |
| 200             | 25     |        |
| 250             | 26     | 26     |
| 315             | 27     |        |
| 400             | 29     |        |
| 500             | 30     | 30     |
| 630             | 31     |        |
| 800             | 33     |        |
| 1000            | 34     | 33     |
| 1250            | 34     |        |
| 1600            | 34     |        |
| 2000            | 30     | 31     |
| 2500            | 31     |        |
| 3150            | 34     |        |
| 4000            | 37     | 36     |
| 5000            | 40     |        |

Figura 13: Curva de respuesta de frecuencia TL para ventana con cristal simple.



En la figura 13 se observa que la curva tiene un comportamiento similar a la curva punteada hasta los 1000 Hz llegando casi a los 35 dB. Luego decae hasta los 2000 Hz. en 5 dB y luego sube en línea recta hasta los 40 dB. Su STC es de 32 dB.

Para tener una idea de cuánto es el aislamiento que hay que alcanzar, se muestra un gráfico con los datos de lo simulado en INSUL (hormigón, puerta y ventana) y el TL que se necesita.

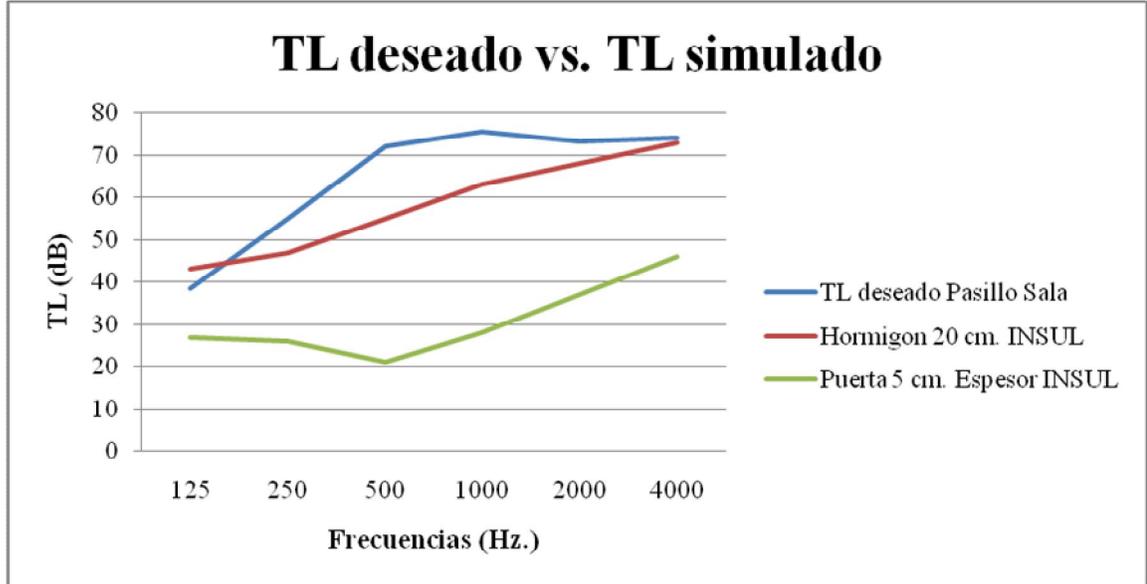


Figura 14: Curva de respuesta de frecuencia TL deseado vs. simulación hormigón 20 cm. de espesor y puerta madera maciza 5 cm. de espesor para caso Pasillo-Sala.

Se observa que el hormigón simulado en INSUL tiene un aislamiento acústico bastante alto y cercano al TL deseado para el caso pasillo-sala. Su rango de aislación acústica fluctua entre los 43 dB hasta los 74 dB aproximadamente. Si se observa la aislación de la puerta, ésta fluctua entre los 20 dB hasta los 46 dB aproximadamente. Si se comparan ambas simulaciones, se observa que hay que trabajar más sobre la puerta que sobre el hormigón, ya que éste último está más cercano a la curva del TL deseado.

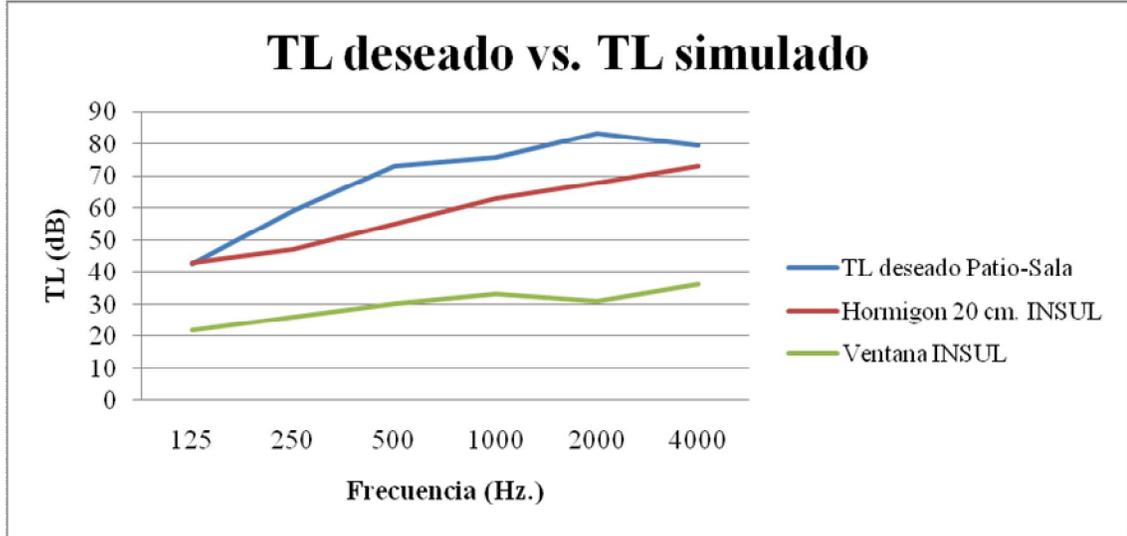


Figura 15: Curva de respuesta de frecuencia TL deseado vs. simulación hormigón 20 cm. de espesor y ventana cristal simple para caso Patio-Sala.

Al igual que el análisis anterior, se observa que el hormigón simulado en INSUL tiene un aislamiento acústico bastante alto y cercana al TL deseado para el caso patio-sala. Su rango de aislamiento acústico fluctua entre los 43 dB hasta los 72 dB aproximadamente. Si se observa el aislamiento de la ventana, ésta fluctua entre los 20 dB hasta los 37 dB aproximadamente. Para este caso, la ventana tiene mucho mas pérdida de transmisión que cualquier simulación mostrada.

Con lo presentado en las figuras 14 y 15 anteriormente, se concluye lo siguiente:

- Para que la sala cumpla con lo solicitado se debe hacer un acondicionamiento acústico en toda la sala.
- Se debe tener más cuidado en la puerta y ventana, ya que éstas son las que tienen mayor pérdida de transmisión sonora.

## **6.5. ACONDICIONAMIENTO DE LA SALA**

Ya que en el mercado no existe un termopanel que cumpla con el TL deseado ni tampoco con el TL deseado en horario de clases, se optó por no considerar soluciones que impliquen los termopaneles.

Existen dos soluciones posibles para acondicionar la sala y que cumpla con lo pedido en la norma.

A continuación, se mostrarán dos soluciones acústicas existentes con la descripción de cada material elegido.

### **6.5.1. SOLUCIÓN A**

#### Descripción

En esta solución, se optará por sacar definitivamente la ventana y rellenar con hormigón el espacio de la ventana. Una vez hecho esto, se revestirán todos los muros con aislantglass y placas de yeso perforado y se diseñará una puerta acústica de placas de acero rellena con fibrocemento y aislantglass. Para fines estéticos se colocará un cubre piso, aunque sin éste, ya cumple con todo lo requerido. El cielo de madera se dejará igual. Esta solución es la más costosa.

#### **Revestimiento Hormigón**

Para poder llegar al TL deseado, se revistió el muro de hormigón, simulando en INSUL, con fibra de vidrio de 22 kg/m<sup>3</sup> y de 50 mm. de espesor. Luego, se colocaron dos placas acústicas de cartón yeso. Cada placa es de 12,5 mm de espesor.

A continuación se mostrará el corte del muro revestido simulado en INSUL.

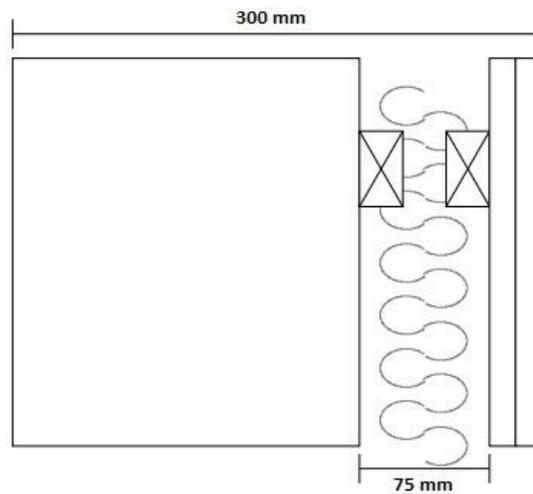


Figura 16: Corte de muro de hormigón de 20 cm de espesor revestido.

La indicación de la figura generada por el software INSUL solo pretende destacar que se debe evitar conexión directa entre la estructura de las placas y el muro de hormigón. El constructor deberá tomar las precauciones para que la estructura que soporta las placas (en base a madera o perfiles metálicos) no esté unida directamente al muro de hormigón, evitando así los posibles caminos de transmisión estructural.

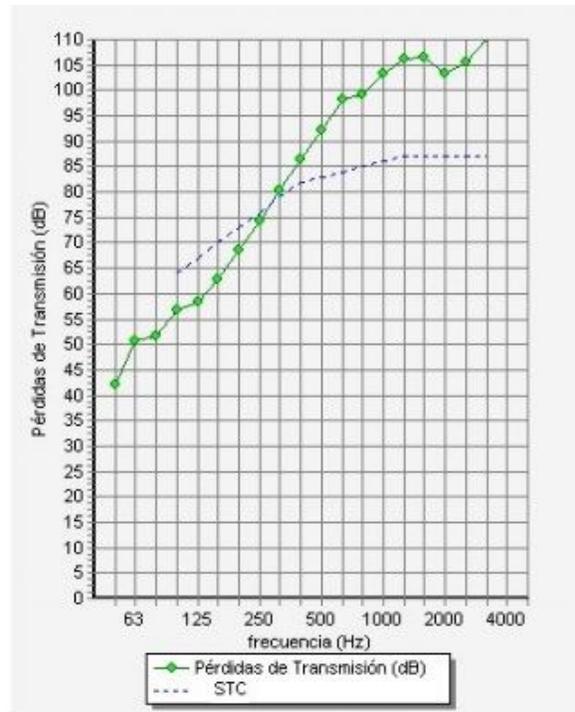
Las placas actúan como solapadoras.

A continuación se mostrará la tabla con su respectivo gráfico del hormigón de 20 cm. acondicionado acústicamente.

Tabla 6: Respuesta frecuencia TL para hormigón revestido

| frecuencia (Hz) | TL(dB) | TL(dB) |
|-----------------|--------|--------|
| 50              | 42     |        |
| 63              | 51     | 46     |
| 80              | 52     |        |
| 100             | 57     |        |
| 125             | 58     | 59     |
| 160             | 63     |        |
| 200             | 68     |        |
| 250             | 74     | 72     |
| 315             | 80     |        |
| 400             | 87     |        |
| 500             | 92     | 90     |
| 630             | 98     |        |
| 800             | 99     |        |
| 1000            | 103    | 102    |
| 1250            | 106    |        |
| 1600            | 106    |        |
| 2000            | 103    | 105    |
| 2500            | 106    |        |
| 3150            | 110    |        |
| 4000            | 115    | 113    |
| 5000            | 120    |        |

Figura 17: Curva de respuesta frecuencia TL para hormigón revestido



Si se hace una comparación del TL deseado vs. el muro revestido, se obtiene el siguiente gráfico.

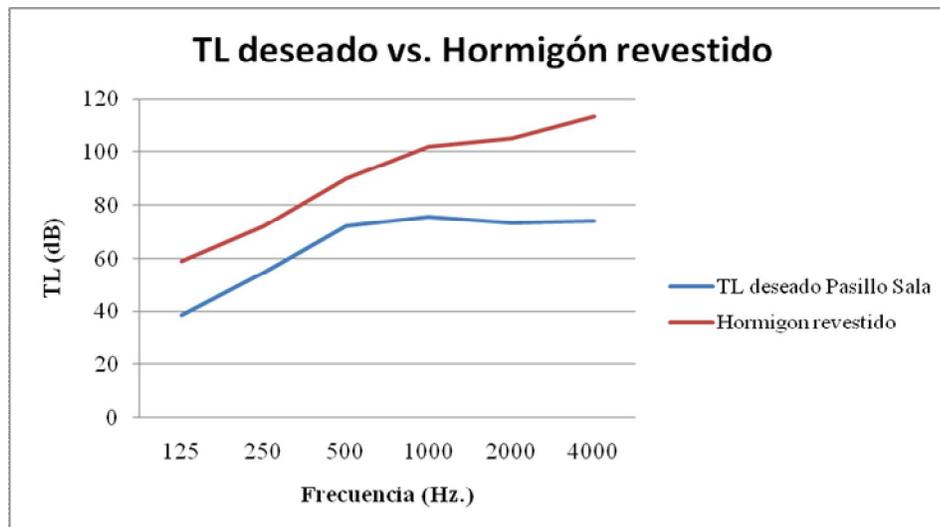


Figura 18: Curva de respuesta de frecuencia para TL deseado Pasillo-Sala vs. Hormigón Revestido.

Se puede apreciar que al revestir el muro con fibra de vidrio y doble placa de yeso, el aislamiento aumentó superando el TL deseado para una sala audiométrica óptima .

### **Puerta Acústica**

Puerta estructurada de acero con planchas de acero de 10 mm cada una laminado en caliente de 0,8x 2,07 metros, espesor total de 80 mm., lo que resulta con un aislamiento acústico superior a 80 dB(A). Las planchas laminadas en caliente tienen mejor resistencia y calidad.

**Bastidor:** Batientes y cabezales conformados por perfil de acero carbono. Esta configuración elimina el riesgo de torceduras en batientes y cabezales, permitiendo la estabilidad física y durabilidad de la puerta. Además, se logra un perfecto blindaje higrométrico lo cual elimina las posibles deformaciones de la puerta debido a cambios de temperatura o humedad.

**Relleno:** El interior de la puerta consistirá en dos placas de fibrocemento de 5 mm de espesor por placa. Dentro de ésta, se colocará fibra de vidrio de 22 Kg/m<sup>3</sup> y con espesor de 50 mm, lo cual produce un aumento en el aislamiento acústico en comparación a la misma puerta sin relleno.

**Sellos perimetrales:** Sellos en base a burletes de goma, aplicados en todo el perímetro de la puerta.

A continuación un corte de la puerta acústica simulada en INSUL.

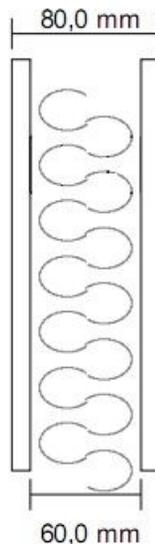


Figura 19: Corte puerta acústica simulada en INSUL

Tabla 7: Respuesta en frecuencia TL para puerta acústica.

| frecuencia (Hz) | TL(dB) | TL(dB) |
|-----------------|--------|--------|
| 50              | 54     |        |
| 63              | 54     | 55     |
| 80              | 56     |        |
| 100             | 59     |        |
| 125             | 63     | 62     |
| 160             | 68     |        |
| 200             | 72     |        |
| 250             | 76     | 75     |
| 315             | 80     |        |
| 400             | 85     |        |
| 500             | 89     | 87     |
| 630             | 91     |        |
| 800             | 92     |        |
| 1000            | 81     | 80     |
| 1250            | 77     |        |
| 1600            | 83     |        |
| 2000            | 89     | 86     |
| 2500            | 94     |        |
| 3150            | 100    |        |
| 4000            | 106    | 104    |
| 5000            | 112    |        |

Figura 20: Curva de respuesta en frecuencia TL para puerta acústica.

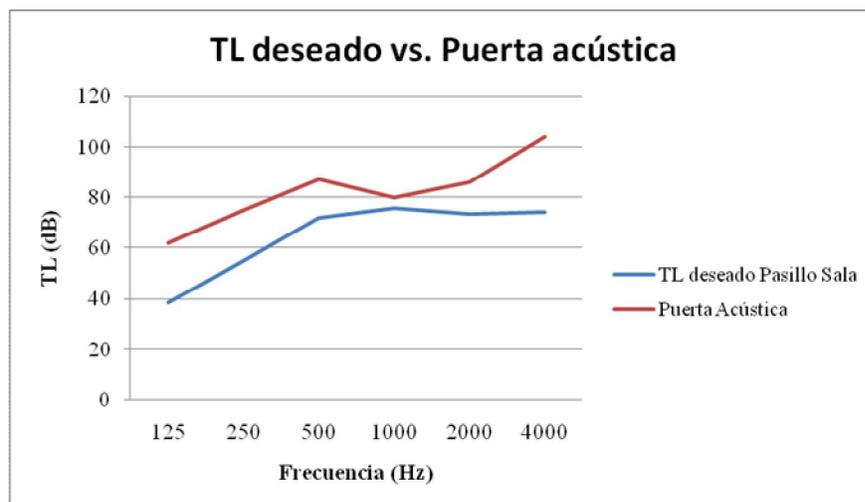
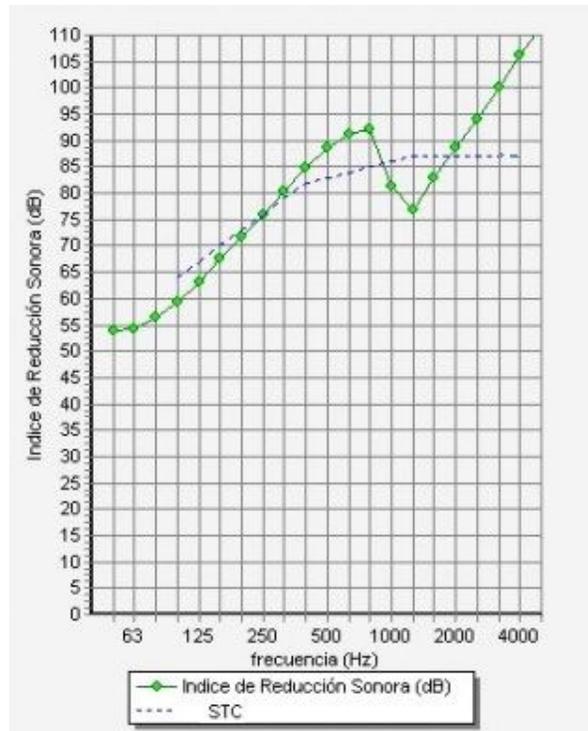


Figura 21: Curva de respuesta de frecuencia para TL deseado Pasillo-Sala vs. Puerta Acústica.

Se observa que con el diseño de la puerta acústica, la curva del aislamiento de ésta superó al TL deseado.

## 6.5.2. SOLUCIÓN B

### Descripción

Al igual que la solución A, se sacará la ventana y rellenará con hormigón la pared. Se colocará una puerta acústica como la descrita en la solución anterior.

Esta solución es más barata pero su limitante es que no se pueden hacer los tests audiométricos en cualquier momento, si no que deben realizarse sólo en horario de clases o después de la jornada escolar.

Los muros, bajo estas condiciones, pueden quedar igual a como se encuentran actualmente, y para un fin estético, se le aplicará unas manos de pintura. Al igual que en la solución A, se colocará un cubre piso y el cielo quedará igual.

### **Puerta Acústica**

Al igual que en la solución A, la puerta acústica tendrá las mismas características para esta solución.

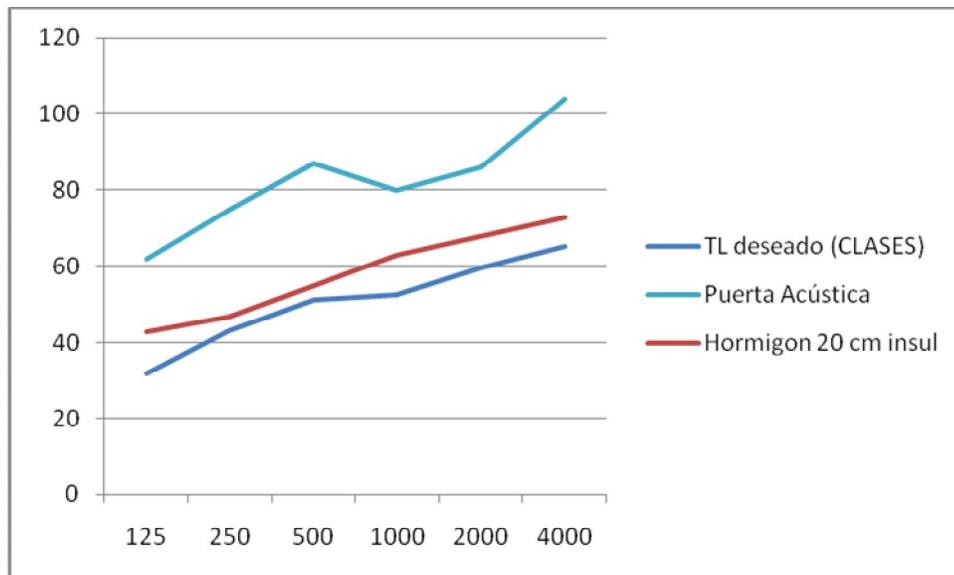


Figura 22: Curva de respuesta de frecuencia para TL deseado en horario clases vs. Puerta Acústica y hormigón simulado en INSUL.

## **6.6 MATERIALES ELEGIDOS**

Después de estudiar las características que deben tener los materiales para que cumplan con lo requerido, se hizo un pequeño estudio de los materiales que se necesitarían para implementar la sala audiométrica en las dos soluciones.

### **Revestimiento hormigón Knauf Cleaneo Akustik 8/18R**

#### Descripción del producto

Cleaneo Akustik 8/18R es una placa de yeso perforada indicada para el control de absorción acústica y bajar los índices de reverberación en los ambientes. Además, cuenta con efecto purificador del aire por agregado de zeolita deshidratada.

La zeolita es una piedra natural de origen volcánico que contiene agua. Mediante el proceso de deshidratación de la piedra se generan estructuras (cristalinas) que en su interior albergan cavidades vacías muy grandes. La medida y la velocidad en la que se reducirá la presencia de sustancias tóxicas dependerán de la extensión de la superficie sobre la cual se coloquen las placas Cleaneo Akustik.

Cleaneo Akustik lleva en su parte posterior un cartón de color rosa y en la cara visible cartón de color marfil. A esto se agrega un velo de fibra acústica standard de color blanco sobre el reverso de la placa, cumpliendo con las funciones de aumentar el poder de control acústico y de hacer de barrera física, escondiendo las instalaciones y los materiales absorbentes que se utilizan para mejorar aún más los resultados acústicos. Además este velo impide que se ensucien las perforaciones de la placa, manteniéndola impecable durante su uso a lo largo de los años.

#### Aplicación

Las placas Cleaneo Akustik se utilizan en la conformación de cielorrasos y revestimientos para el control de la reverberación en ambientes cerrados. Su mayor aplicación está en el mejoramiento de la acústica ambiental para espacios arquitectónicos, donde además del resultado acústico se busca también diseño y estética.

En forma adicional, gracias a su efecto purificador del aire como característica estándar de fabricación, son ideales para los espacios interiores con el fin de mejorar el acondicionamiento del aire del ambiente y reducir la carga de sustancias tóxicas.

Mediante el uso de Cleaneo Akustik también se neutralizan notablemente los olores desagradables. Entre varios ensayos, se destacan las mediciones de sustancias tóxicas en un ambiente de fumadores real, realizadas antes y después de la colocación de Cleaneo Akustik, demostrando la acción favorable de estas placas sobre la calidad del aire.

Con las placas Cleaneo Akustik también pueden conformarse resonadores para espacios con alta reverberación como salas de máquina o estaciones de subterráneo.

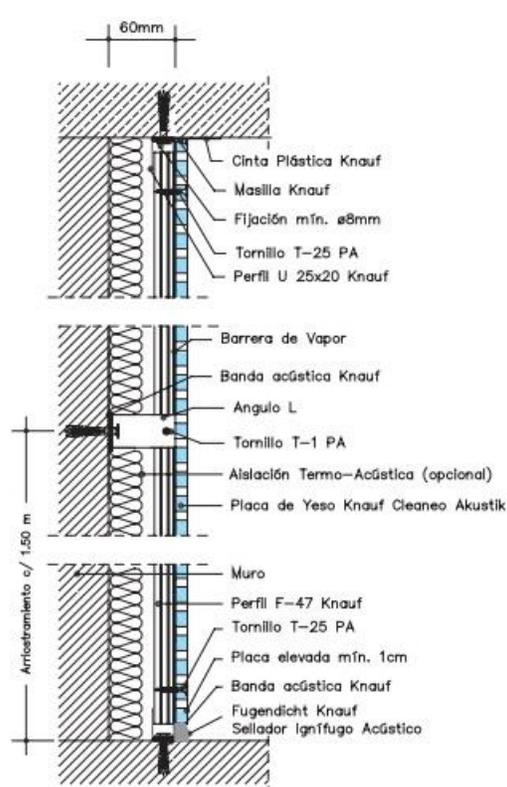


Figura 23: Corte de placa Cleaneo Akustik



Figura 24: Placa Cleaneo Akustik

## **Puerta acústica**

Planchas de Acero marca Carlos Herrera

Puerta estructurada de acero con planchas de acero laminado en caliente de 0,8x 2,07 metros, espesor total de 80 mm., lo que resulta con un aislamiento acústico superior a 80 dB(A). Las planchas laminadas en caliente tienen mejor resistencia y calidad.

Bastidor: Batientes y cabezales conformados por perfil de acero carbono. Esta configuración elimina el riesgo de torceduras en batientes y cabezales, permitiendo la estabilidad física y durabilidad de la puerta. Además, se logra un perfecto blindaje higrométrico lo cual elimina las posibles deformaciones de la puerta debido a cambios de temperatura o humedad.

Relleno: Aislanglass en rollo y dos placas lisas de fibrocemento Duraboard® de VOLCAN® de 5 mm de espesor cada una.

### **AISLANGLASS® Rollo Libre**

Es un producto que se entrega en forma de rollos, con un ancho de 0.60 m ó 1.20 m y de longitud que puede ser de hasta 24 metros. El material no lleva ningún tipo de recubrimiento y tiene una extraordinaria flexibilidad durante su instalación. Su gran longitud le permite minimizar el tiempo de instalación y su envasado de alta compresión permite durante el transporte y manipulación un excelente comportamiento, evitando el deterioro del producto y logrando una disminución considerable de los costos de flete.

Fuente: [www.volcan.cl](http://www.volcan.cl)



Figura 25: Muestra Aislanglass en rollo

### **Duraboard®**

Es la placa lisa de fibrocemento de Volcán® recomendada por su durabilidad e incombustibilidad. Es además resistente al ataque de termitas y roedores, no se ve afectado por la humedad y mantiene sus dimensiones estables ante los cambios de temperatura.

Su composición consiste en una mezcla homogénea de cemento, fibras de celulosa, arena y aditivos especiales los cuales son fraguados en autoclave.

Es fácil de cortar, transportar, clavar, atornillar o pintar.

Fuente: [www.volcan.cl](http://www.volcan.cl)

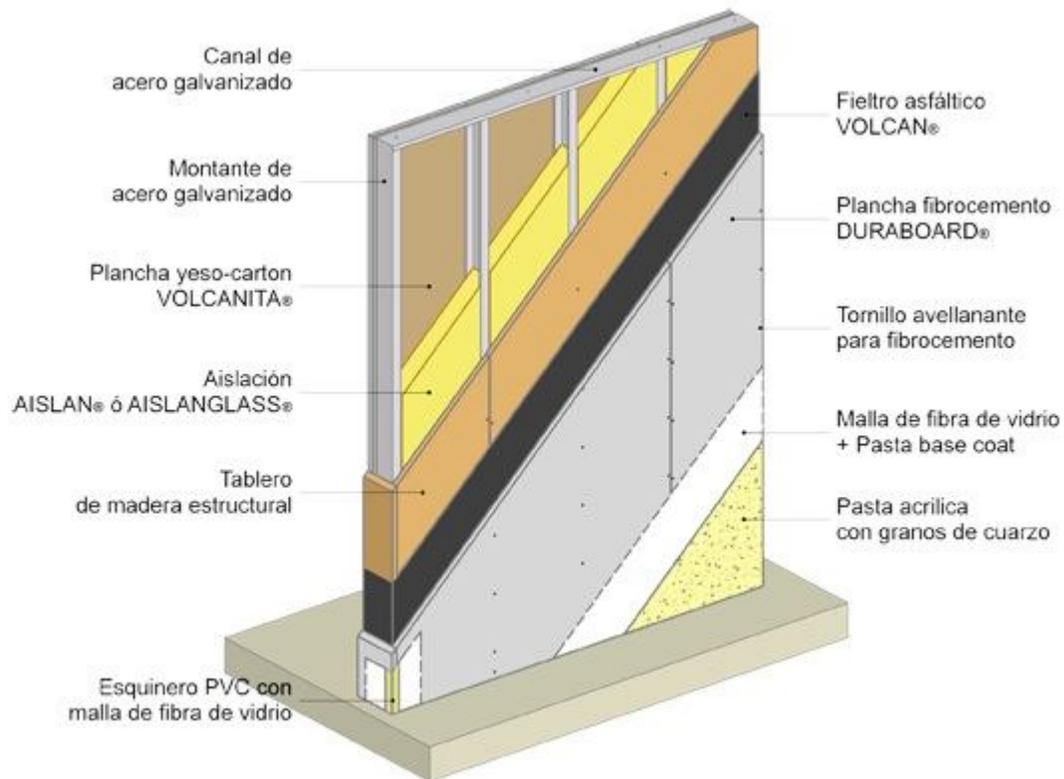


Figura 26: Corte placa lisa fibrocemento

Sellos perimetrales: Sellos en base a burletes de goma, aplicados en todo el perímetro de la puerta.

A continuación se mostrará un corte de la puerta acústica dibujado con el programa ARCHICAD.

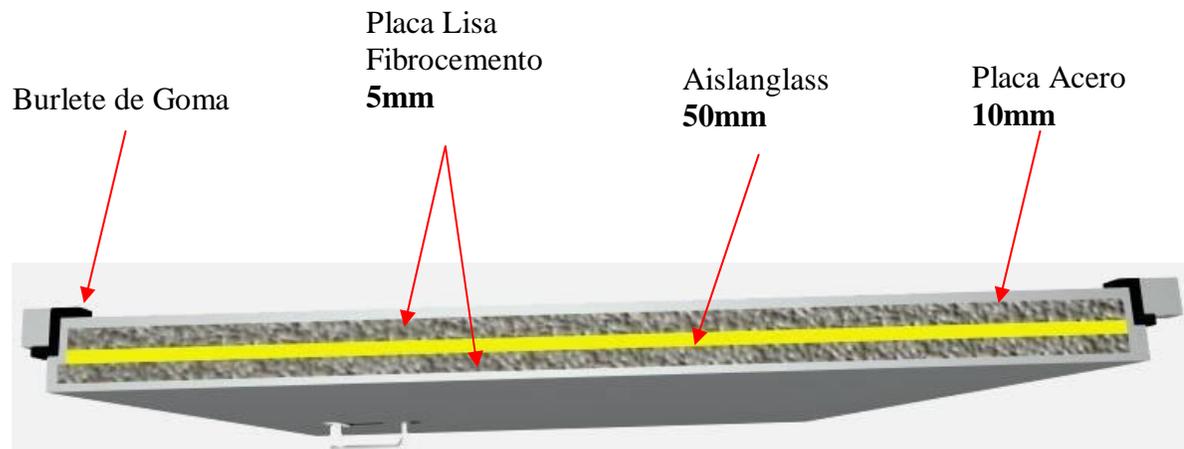


Figura 27: Corte Puerta Acústica y marcos

## 7. ANÁLISIS DE COSTO

Para calcular el valor del diseño de la sala audiométrica, es necesario hacer un análisis del costo de cada material que se utilizará para su diseño.

A continuación se mostrarán dos tablas con el presupuesto para cada solución.

Tabla 9: Presupuesto solución A

|                               | <b>Descripción</b>                             | <b>Valor unitario, m2 o m3</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Valor Total + IVA</b> |
|-------------------------------|--|--------------------------------|--------------------|--------------------------|
| <b>Puerta Acústica</b>        | 2 Placas Acero Carlos Herrera 10 mm 1x3 m      | 156.720                        | 313.440            | 372.994                  |
|                               | 2 Placas Fibrocemento Duraboard 5 mm 1,2x2,4 m | 7.009                          | 14.018             | 16.681                   |
|                               | 3 Rollo Aislanglass                            | 20.167                         | 60.501             | 60.501                   |
|                               | Mano de Obra por corte de placas               | 15.000                         | 30.000             | 30.000                   |
|                               | Sellos Perimetrales por metro                  | 2.000                          | 6.000              | 6.000                    |
|                               | Marco  | 16.500                         | 16.500             | 19.635                   |
| <b>Revestimiento Hormigón</b> | Relleno Muro con Hormigón m3 (0,32 m3)         | 100.000                        | 32.000             | 38.080                   |
|                               | Placa Cleano Rectilíneo 8/18 R x m2            | 4.500                          | 119.880            | 142.657                  |
|                               | Instalación placa x m2                         | 13.000                         | 346.320            | 412.120                  |
| <b>Piso</b>                   | Cubre Piso x m2                                | 5.490                          | 44.359             | 52.788                   |
|                               | Pegamento                                      | 3.460                          | 3.460              | 3.460                    |
|                               |  |                                | <b>Total</b>       | 1.154.916                |

Tabla 10: Presupuesto Solución B

|                         | <b>Descripción</b>                             | <b>Valor unitario</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Valor Total + IVA</b> |
|-------------------------|--|-----------------------|--------------------|--------------------------|
| <b>Puerta Acústica</b>  | 2 Placas Acero Carlos Herrera 10 mm 1x3 m      | 156.720               | 313.440            | 372.994                  |
|                         | 2 Placas Fibrocemento Duraboard 5 mm 1,2x2,4 m | 7.009                 | 14.018             | 16.681                   |
|                         | Rollo Aislanglass                              | 20.167                | 20.167             | 20.167                   |
|                         | Mano de Obra por corte de placas               | 15.000                | 30.000             | 30.000                   |
|                         | Sellos Perimetrales por metro                  | 8.000                 | 24.000             | 24.000                   |
|                         | Marco  | 16.500                | 16.500             | 19.635                   |
| <b>Pintura</b>          | Oleo Opaco Tricolor Blanco                     | 13.099                | 13.099             | 13.099                   |
| <b>Piso</b>             | Cubre piso                                     | 5.490                 | 44.359             | 52.788                   |
|                         | Pegamento                                      | 3.460                 | 3.460              | 3.460                    |
| <b>Relleno Hormigón</b> | Relleno Muro con Hormigón m3 (0,32 m3)         | 100.000               | 32.000             | 38.080                   |
|                         |  |                       | <b>Total</b>       | 590.904                  |

Se puede ver que la solución A es mucho más costosa que la solución B.

Cabe destacar que falta el costo de la mano de obra para instalación de alfombra, pintura de muros y construcción de la puerta acústica.

## **8. CONCLUSIONES**

Se logró el objetivo general, mediante cálculos de Ruido de Fondo, Tiempo de Reverberación, aislación, pérdida de transmisión y cálculos con el software INSUL.

Se diseñó y acondicionó la sala del colegio Walter Schmidt y cumplió con todo lo necesario para poder efectuar exámenes audiométricos.

Se analizaron las condiciones físicas y acústicas del lugar donde se diseñó la sala para audiometrías en campo libre.

Se encontraron dos tipos de soluciones. A pesar que ambas soluciones son efectivas, la primera solución es la más adecuada ya que no tiene la limitante de horario como la solución B. Esta solución es la más costosa.

En el análisis de costos no está incluido el valor de la mano de obra de la construcción de la puerta acústica.

## **9. REFERENCIAS**

### **LIBROS**

- Beranek, L., Acústica, 2da edición, Editorial Hispanoamericana, Buenos Aires, (1969)
- Möser, M., Barros, J., Ingeniería Acústica: teoría y aplicaciones, 1era Edición, Berlin, (2004)

### **DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS**

- Knauf Cleaneo Akustik Modelo 8/18R, extraído el 01 de Julio del 2010, Dirección web: <http://www.knauf.cl/cleaneo/>
- Knauf\_cleaneo\_akustic\_montaje, extraído el 01 Julio del 2010, Dirección web: <http://www.knauf.cl/cleaneo/>

### **NORMAS Y DECRETOS**

- ISO 8253:2 1992 *Audiometric test methods- Part 2: Sound field audiometry with pure tone and narrow-band test signals.*
- D.S. 146 de 1997, del Ministerio Secretaría General de la República.
- Norma Chilena 2785: Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción-Mediciones en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos.

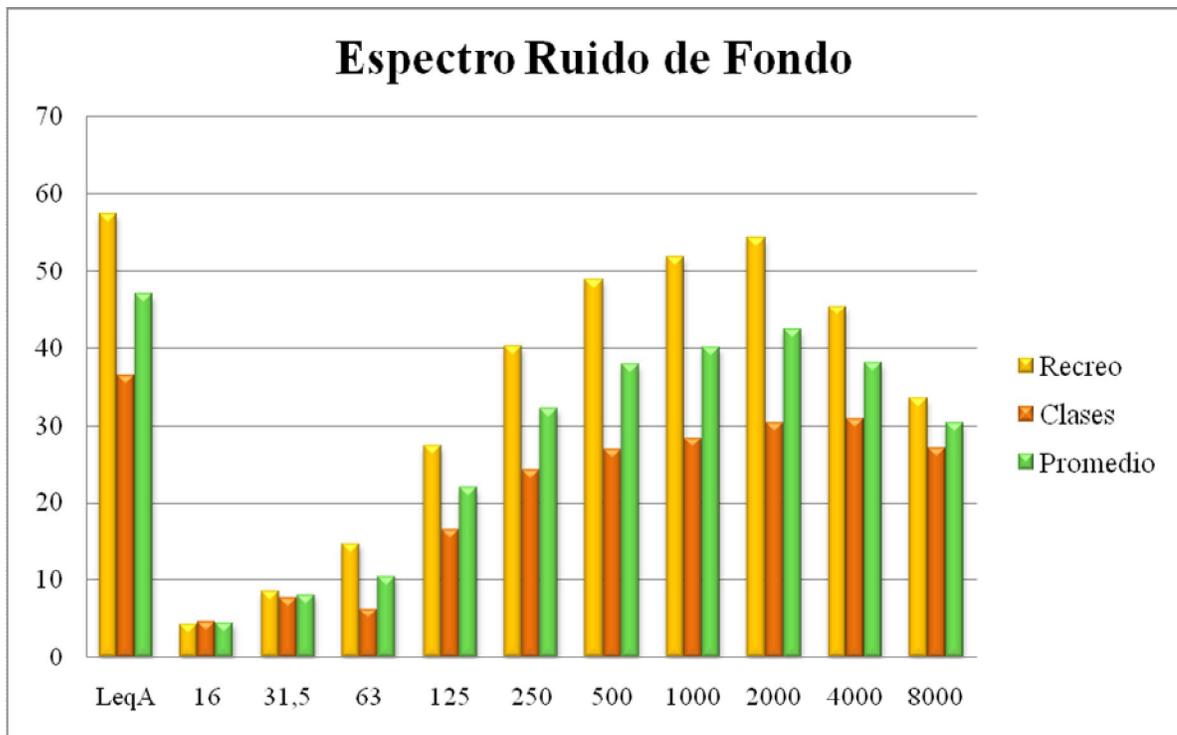
### **APUNTES DE CLASES**

- Sommerhoff, G., Apuntes de la asignatura Acústica de locales, Instituto de Acústica UACH, Valdivia, (2003)

## 10. ANEXO

### Ruido de Fondo

|           | Promedio |      |       |
|-----------|----------|------|-------|
| Frec/LeqA | 57,5     | 36,6 | 47,05 |
| 16        | 4,3      | 4,7  | 4,5   |
| 31,5      | 8,6      | 7,8  | 8,2   |
| 63        | 14,7     | 6,4  | 10,55 |
| 125       | 27,4     | 16,5 | 21,95 |
| 250       | 40,3     | 24,3 | 32,3  |
| 500       | 48,9     | 27   | 37,95 |
| 1000      | 51,9     | 28,5 | 40,2  |
| 2000      | 54,3     | 30,5 | 42,4  |
| 4000      | 45,4     | 30,9 | 38,15 |
| 8000      | 33,6     | 27,2 | 30,4  |



## TIEMPO DE REVERBERACIÓN

| Posición de Fuente A |         |         |         |            | Posición de Fuente B |         |         |            |                |
|----------------------|---------|---------|---------|------------|----------------------|---------|---------|------------|----------------|
| Frecuencia           | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | PROMEDIO A | Punto 1              | Punto 2 | Punto 3 | PROMEDIO B | PROMEDIO (AyB) |
| Oct100               | 0,77    | 1,76    | 1,05    | 1,19       | 0,805                | 0,71    | 1,025   | 0,85       | 1,02           |
| Oct125               | 1,105   | 0,87    | 0,95    | 0,98       | 0,805                | 0,54    | 0,51    | 0,62       | 0,80           |
| Oct160               | 0,6     | 0,715   | 0,855   | 0,72       | 0,615                | 0,495   | 0,64    | 0,58       | 0,65           |
| Oct200               | 0,675   | 0,725   | 0,675   | 0,69       | 0,535                | 0,5     | 0,61    | 0,55       | 0,62           |
| Oct250               | 0,675   | 0,63    | 0,645   | 0,65       | 0,6                  | 0,465   | 0,51    | 0,53       | 0,59           |
| Oct315               | 0,645   | 0,685   | 0,76    | 0,70       | 0,555                | 0,585   | 0,49    | 0,54       | 0,62           |
| Oct400               | 0,575   | 0,71    | 0,675   | 0,65       | 0,645                | 0,61    | 0,47    | 0,58       | 0,61           |
| Oct500               | 0,62    | 0,65    | 0,61    | 0,63       | 0,605                | 0,565   | 0,555   | 0,58       | 0,60           |
| Oct630               | 0,595   | 0,62    | 0,675   | 0,63       | 0,6                  | 0,485   | 0,405   | 0,50       | 0,56           |
| Oct800               | 0,575   | 0,61    | 0,76    | 0,65       | 0,545                | 0,445   | 0,485   | 0,49       | 0,57           |
| Oct1k                | 0,6     | 0,675   | 0,64    | 0,64       | 0,625                | 0,495   | 0,505   | 0,54       | 0,59           |
| Oct1,25k             | 0,59    | 0,61    | 0,68    | 0,63       | 0,595                | 0,485   | 0,49    | 0,52       | 0,58           |
| Oct1,6k              | 0,55    | 0,69    | 0,68    | 0,64       | 0,52                 | 0,465   | 0,53    | 0,51       | 0,57           |
| Oct2k                | 0,585   | 0,72    | 0,675   | 0,66       | 0,56                 | 0,515   | 0,525   | 0,53       | 0,60           |
| Oct2,5k              | 0,6     | 0,665   | 0,715   | 0,66       | 0,6                  | 0,505   | 0,535   | 0,55       | 0,60           |
| Oct3,15k             | 0,615   | 0,65    | 0,67    | 0,65       | 0,535                | 0,475   | 0,53    | 0,51       | 0,58           |
| Oct4k                | 0,645   | 0,655   | 0,685   | 0,66       | 0,585                | 0,505   | 0,535   | 0,54       | 0,60           |
| Oct5k                | 0,585   | 0,705   | 0,67    | 0,65       | 0,58                 | 0,5     | 0,53    | 0,54       | 0,60           |

## TL SALA

| Frecuencia (Hz) | Fuentes patio puntos patio |                           |                |                      |                |               |                    |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|----------------|----------------------|----------------|---------------|--------------------|
|                 | Promedio Energético Final  | Promedio Energético Final | Diferencia (D) | Tiempo Reverberación | $A=0,16*(V/T)$ | $10\log(S/A)$ | $TL=D+10\log(S/A)$ |
| 100             | 75,1                       | 45,4                      | 29,7           | 1,02                 | 3,55           | 2,73          | 32,43              |
| 125             | 81,1                       | 50,5                      | 30,6           | 0,80                 | 4,52           | 1,68          | 32,28              |
| 160             | 87,9                       | 56,1                      | 31,8           | 0,65                 | 5,56           | 0,77          | 32,57              |
| 200             | 85,2                       | 55,8                      | 29,4           | 0,62                 | 5,83           | 0,57          | 29,97              |
| 250             | 85,9                       | 57,5                      | 28,4           | 0,59                 | 6,13           | 0,35          | 28,75              |
| 315             | 87,6                       | 63,6                      | 24             | 0,62                 | 5,83           | 0,57          | 24,57              |
| 400             | 88,5                       | 64,5                      | 24             | 0,61                 | 5,93           | 0,50          | 24,50              |
| 500             | 87,4                       | 58,5                      | 28,9           | 0,60                 | 6,03           | 0,43          | 29,33              |
| 630             | 84,2                       | 58,7                      | 25,5           | 0,56                 | 6,46           | 0,13          | 25,63              |
| 800             | 86                         | 61                        | 25             | 0,57                 | 6,34           | 0,20          | 25,20              |
| 1000            | 84,2                       | 56,5                      | 27,7           | 0,59                 | 6,13           | 0,35          | 28,05              |
| 1250            | 85,9                       | 53,7                      | 32,2           | 0,58                 | 6,23           | 0,28          | 32,48              |
| 1600            | 87,1                       | 54,8                      | 32,3           | 0,57                 | 6,34           | 0,20          | 32,50              |
| 2000            | 88,5                       | 55                        | 33,5           | 0,60                 | 6,03           | 0,43          | 33,93              |
| 2500            | 84,9                       | 51                        | 33,9           | 0,60                 | 6,03           | 0,43          | 34,33              |
| 3150            | 84,5                       | 51,5                      | 33             | 0,58                 | 6,23           | 0,28          | 33,28              |
| 4000            | 82,2                       | 49,4                      | 32,8           | 0,60                 | 6,03           | 0,43          | 33,23              |
| 5000            | 79,2                       | 43,5                      | 35,7           | 0,60                 | 6,03           | 0,43          | 36,13              |

|                 | Fuentes pasillo puntos pasillo |                           |                |                      |                |               |       |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------|----------------|---------------|-------|
| Frecuencia (Hz) | Promedio Energético Final      | Promedio Energético Final | Diferencia (D) | Tiempo Reverberación | $A=0,16*(V/T)$ | $10\log(S/A)$ | TL    |
| 100             | 74,1                           | 58                        | 16,1           | 1,02                 | 3,55           | 6,56          | 22,66 |
| 125             | 84,4                           | 61,7                      | 22,7           | 0,80                 | 4,52           | 5,51          | 28,21 |
| 160             | 90,3                           | 71                        | 19,3           | 0,65                 | 5,56           | 4,61          | 23,91 |
| 200             | 90                             | 70,6                      | 19,4           | 0,62                 | 5,83           | 4,40          | 23,80 |
| 250             | 88,3                           | 67,9                      | 20,4           | 0,59                 | 6,13           | 4,19          | 24,59 |
| 315             | 89                             | 67,8                      | 21,2           | 0,62                 | 5,83           | 4,40          | 25,60 |
| 400             | 90,1                           | 66,8                      | 23,3           | 0,61                 | 5,93           | 4,33          | 27,63 |
| 500             | 89,4                           | 65,6                      | 23,8           | 0,60                 | 6,03           | 4,26          | 28,06 |
| 630             | 86,7                           | 62,8                      | 23,9           | 0,56                 | 6,46           | 3,96          | 27,86 |
| 800             | 86,9                           | 62,6                      | 24,3           | 0,57                 | 6,34           | 4,04          | 28,34 |
| 1000            | 86                             | 62,5                      | 23,5           | 0,59                 | 6,13           | 4,19          | 27,69 |
| 1250            | 87,4                           | 65,8                      | 21,6           | 0,58                 | 6,23           | 4,11          | 25,71 |
| 1600            | 89,7                           | 68,8                      | 20,9           | 0,57                 | 6,34           | 4,04          | 24,94 |
| 2000            | 91,8                           | 72,1                      | 19,7           | 0,60                 | 6,03           | 4,26          | 23,96 |
| 2500            | 87,6                           | 69,6                      | 18             | 0,60                 | 6,03           | 4,26          | 22,26 |
| 3150            | 87,6                           | 66,8                      | 20,8           | 0,58                 | 6,23           | 4,11          | 24,91 |
| 4000            | 84,4                           | 61                        | 23,4           | 0,60                 | 6,03           | 4,26          | 27,66 |
| 5000            | 81                             | 59,6                      | 21,4           | 0,60                 | 6,03           | 4,26          | 25,66 |